TRAITÉ
EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS;

PAR M. BECQUEREL,
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

[illegible]

TOME CINQUIÈME
DEUXIÈME PARTIE



PARIS.
FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,
RUE JACOB, N° 56.

M DCCC XL.

AVANT-PROPOS.

Les recherches sur l'électricité et le magnétisme ont pris une telle extension, depuis la publication du Ier volume de cet ouvrage, que je me suis vu contraint de dépasser le cadre que j'avais d'abord arrêté. Voulant présenter au lecteur un tableau aussi complet que possible de la science jusqu'à ce jour, je me suis déterminé à réunir dans cette dernière publication (qui se compose de la 2e partie du Ve volume, d'un VIe, VIIe et dernier volume, avec un atlas) les travaux les plus importants, tant sur l'électricité que sur le magnétisme terrestre. Toujours fidèle au plan que j'ai adopté en commençant cet ouvrage, je me suis borné quelquefois à donner une simple analyse des travaux de chaque auteur, sans me livrer à une discussion quelconque; car le but que l'on doit se proposer, quand on publie le traité d'une science, est de faire connaître tous les éléments dont elle se compose, sans esprit de parti, et sans omettre, par conséquent, les faits qui contrarient des vues particulières. Ainsi, défenseur de la théorie électro-chimique du contact, tout en reconnaissant qu'il y a quelque chose dans le contact qui influe sur les

gnétiques, mais encore les cartes, des lignes isodynamiques, celles des méridiens et des parallèles magnétiques. Je lui dois également des remercîments pour les conseils qu'il m'a donnés, et qui m'ont été très-précieux, ainsi que pour la rédaction des articles qui concernent ses travaux magnétiques exécutés pendant le voyage de *la Coquille*, et ceux dont il a depuis enrichi la science.

---

phénomènes, je me suis bien gardé de ne rapporter que les faits qui sont favorables à mon opinion; historien fidèle, j'ai exposé aussi, sans prévention aucune, les opinions des défenseurs de la théorie de Volta. C'est dans cet esprit, je crois, qu'il faut rédiger un traité général.

Dans la 2e partie du Ve volume, on trouvera les recherches de M. Harris sur les lois fondamentales des actions électriques; recherches dont les résultats ne tendent rien moins qu'à faire perdre quelquefois aux lois de Coulomb, de leur généralité; mais, comme elles renferment des expériences nouvelles et intéressantes, j'ai dû les présenter avec quelques détails. « Au surplus, ai-je ajouté en parlant de ces lois, l'accord parfait qui existe entre « les résultats de l'expérience et les déductions de « l'analyse, est tel, qu'il est admis aujourd'hui par « tous les physiciens que l'on ne peut ajouter aux « grandes découvertes de Coulomb, touchant les « lois de l'action à distance, que des faits de détail « qui ne peuvent les infirmer en rien.... Quelque « prévenu que l'on soit contre un travail de cette « nature, comme il repose sur des expériences, et « par conséquent sur des faits, j'ai pensé qu'il était « de mon devoir de les exposer, afin que les physi- « ciens puissent les discuter, et voir jusqu'à quel « point les conséquences que l'on en tire sont fon- « dées. » Ces phrases sont l'expression de ma manière de voir.

Les travaux de M. Faraday, concernant l'induction d'un courant sur lui-même ou à distance, le pouvoir inducteur des di-électriques, qui n'ont pas reçu l'assentiment général, ont été exposés dans le même esprit.

Dans le VIe volume, je me suis attaché à réunir toutes les applications de l'électricité aux phénomènes naturels et aux arts, et qui ne se trouvent pas dans les volumes précédents. On y trouvera par-

ticulièrement une analyse de la notice de M. Arago sur le tonnerre, travail le plus complet qui ait jusqu'ici paru sur ce sujet, un exposé des aurores boréales, des trombes, etc. Je crois ne pas avoir fait d'omission importante.

Le VII^e volume, celui qui renferme le magnétisme terrestre, présentait plus de difficultés, en raison du grand nombre de travaux et de conséquences contradictoires obtenues par des hommes illustres. Je ne me suis point dissimulé les difficultés que je rencontrerais; aussi n'ai-je point eu la prétention de les surmonter toutes. Mais le titre que j'ai donné à cet ouvrage m'imposait l'obligation, comme, du reste, j'en avais pris l'engagement vis-à-vis du public, de le terminer en présentant un tableau aussi complet que possible de l'état actuel de nos connaissances sur le magnétisme terrestre, j'ai dû, par conséquent, présenter cette branche de la physique sans prévention contre telle ou telle méthode d'observation, contre telle ou telle vue théorique, en essayant de coordonner les faits de manière à mettre en évidence les rapports qui existent entre eux et les phénomènes électriques, objets de mes études favorites.

J'ai dû exposer avec de grands développements les travaux de M. Gauss, qui fixent dans ce moment l'attention de tous les physiciens. Sa théorie du magnétisme terrestre a été analysée, sous le rapport mathématique, par M. l'abbé Moignot, ayant de profondes connaissances dans toutes les sciences physiques, et possédant plusieurs langues.

N'ayant pas par devers moi tous les documents dont j'avais besoin, j'ai eu recours à l'obligeance de M. le capitaine Duperrey, qui a bien voulu, non-seulement mettre à ma disposition les tableaux *dressés par lui*, des déclinaisons de l'aiguille aimantée, pour différents lieux de la terre, depuis quarante ans, ainsi que d'autres tableaux d'observations ma-

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

LIVRE XIII.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DES ACTIONS ÉLECTRIQUES ET DES EFFETS DE L'INDUCTION.

CHAPITRE PREMIER.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE CONTACT

§ Ier. *Des effets électriques produits dans le contact des corps solides.*

1309. Les effets électriques de contact, quelle que soit leur cause productrice, ont aujourd'hui une telle importance, en raison de leurs rapports avec les affinités et les actions moléculaires en général, qu'on ne saurait les étudier avec trop de soin. Volta crut pouvoir les expliquer

tous au moyen d'une force électro-motrice qui constitue deux corps en contact dans deux états électriques différents Fabroni leur attribua une origine chimique. Tour à tour ces deux opinions ont été alternativement combattues et défendues par Wollaston, Davy et autres physiciens; mais ce n'est réellement que lorsqu'on eut analysé les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, que l'on fut obligé d'admettre l'influence immédiate des réactions chimiques sur les phénomènes électriques de contact.

M. Delarive est un des physiciens qui ont le plus contribué à ébranler la théorie de Volta, en s'appuyant sur une foule d'expériences dont il a discuté les résultats avec la plus grande habileté. De mon côté, comme on l'a vu dans les cinq premiers volumes de cet ouvrage, j'ai fait un grand nombre d'expériences qui démontrent rigoureusement que l'action chimique dans le contact est une des causes les plus déterminantes du dégagement de l'électricité : méconnaître cette cause aujourd'hui, c'est nier l'évidence. La théorie du contact ayant été défendue, ces dernières années, par quelques physiciens, j'ai cru convenable de la soumettre à un nouvel examen, afin de m'assurer si les opinions que j'ai émises précédemment sur son insuffisance pour expliquer les phénomènes, ne devaient pas être modifiées en raison des découvertes dont la physique s'est enrichie depuis la publication des premiers volumes de mon ouvrage. Voici les observations que j'ai eu l'occasion de faire à cet égard :

1310. Pour me mettre, autant que possible, à l'abri des effets électro-chimiques, j'ai soumis à l'expérience, comme je l'avais fait auparavant, des substances qui, exposées depuis des siècles aux intempéries des saisons, n'avaient éprouvé aucune altération sensible, à en juger par l'état des surfaces. Je citerai particulièrement le platine, l'or, le peroxide de manganèse, le persulfure et le carbure de fer, etc. Toutes les précautions ont été prises pour que les surfaces de ces corps soient très-nettes et les doigts lavés avec de l'eau distillée. J'ai montré (80)

que le platine et l'or ne donnent lieu à aucun dégagement d'électricité par leur contact mutuel, à la manière de Volta; que ces deux métaux sont positifs par rapport au peroxide de manganèse et au carbure de fer, et ne donnent aucun effet avec le protoxide de cuivre, le persulfure de fer, le deutoxide de fer préparé avec l'eau, le fer oligiste, etc ; que le peroxide de manganèse et le carbure de fer sont au contraire électriques négativement dans leur contact avec ces substances, etc., etc.

1311. Tous ces effets sont-ils dus à la force électromotrice de Volta, ou bien à des réactions chimiques inaperçues jusqu'ici, et dont M. Delarive nous a donné un exemple dans le platine, qui paraît éprouver une légère altération à l'air? C'est ce que nous allons examiner; quant au peroxide de manganèse, nous admettons avec cet habile physicien, que son état électrique est dû à la perte qu'il fait de son oxigène en s'hydratant dans son contact avec le doigt mouillé. Pour bien poser l'état de la question, et montrer que je n'ai pas varié dans mes opinions sur la théorie du contact, comme quelques personnes l'ont avancé, je vais rappeler ce que j'ai dit à diverses reprises, au sujet de l'électricité de contact (1). « Nous devons conclure de tous les phénomènes électriques qui ont été observés jusqu'ici dans le contact des « corps que, dans presque tous les cas, il y a eu action « chimique et que, dès lors, on est porté à croire que cette « dernière cause est celle qui exerce le plus d'influence « sur leur production. Néanmoins, dans l'état actuel de « la science, on ne doit pas encore abandonner la théorie « de Volta, attendu qu'il peut très-bien se faire qu'au « contact de deux corps il y ait un dégagement d'électri- « cité résultant d'un commencement de réaction chimique « entre ces corps.

Plus loin (2): « Nous pensons qu'il peut très-bien

---

(1) Traité de l'Électricité et du Magnétisme. T. II, p. 145.
(2) Tom. III, p. 418.

« se faire que lorsque deux corps sont en contact, les « affinités commencent à exercer leur action, avant qu'il « y ait combinaison et qu'il en résulte des effets électri- « ques par suite du trouble qui survient dans la position « d'équilibre des molécules. »

Plus loin encore (1) : « Quoique nous reconnaissions une « origine purement chimique à l'électricité voltaïque, et « que l'eau réagisse sur le peroxide de manganèse pour « le changer en hydrate. »

« On peut se demander quelle est la nature de l'ac- « tion chimique que l'eau distillée exerce sur la plomba- « gine, et surtout sur l'anthracite, dont la force de « cohésion est si considérable, que cette substance résiste « jusqu'à un certain point à l'action du feu. Dans l'im- « possibilité de répondre à cette question, nous émettons « de nouveau l'opinion qu'il peut très-bien se faire qu'il « y ait trouble dans l'état d'équilibre de l'électricité de « deux corps en contact, quand l'attraction de ces corps « est suffisante pour opérer cette perturbation, mais non « pour vaincre la force de cohésion qui s'oppose à leur « combinaison. »

On voit donc que je me suis borné à rapporter fidèlement les faits tels que je les ai observés, et à les expliquer, sans chercher à les faire entrer de force dans l'une des deux théories qui ont divisé les physiciens; fidèle en cela au principe que j'ai adopté depuis long-temps, savoir, que la meilleure des théories est celle qui s'applique au plus grand nombre de faits.

Commençons l'examen des effets de contact dans les corps solides par ceux qui ont été annoncés par Davy : dans son Mémoire sur quelques effets de l'électricité chimique (2), il rapporte les faits suivants dont il tire des conséquences, pour la théorie électro-chimique, qui sont inadmissibles, comme je vais le prouver.

(1) Tom. v, p. 35.
(2) Annales de Chimie, T. LXIII, p. 230.

« Les substances alcalines et acides qui peuvent « exister sous la forme sèche et solide, donnent avec les « métaux des électricités très-sensibles qui n'exigent « que l'électro-mètre à feuilles d'or avec un petit disque « condensateur.

« Lorsqu'on touchait avec un plateau de cuivre isolé, « avec un manche de verre, l'acide oxalique, succinique, « benzoïque ou boracique parfaitement sec, soit en pou- « dre, soit en cristaux, sur une surface étendue, on « trouvait le cuivre dans l'état positif, l'acide dans l'état « négatif.............. D'autres métaux, le zinc et « l'étain, par exemple, produisent le même effet..... « Quand on mit en contact des disques métalliques avec « la chaux sèche, la strontiane ou la magnésie, le métal « devint négatif.............. Un morceau de chaux « sèche, faite avec la pierre calcaire secondaire com- « pacte et très-dure, et taillée de manière qu'elle présen- « tait une grande surface unie, devint électrique positi- « vement par des contacts réitérés avec des cristaux « d'acide oxalique. Des cristaux placés sur un électro- « mètre condensateur, et touchés à plusieurs reprises « par la chaux que l'on déchargeait après chaque con- « tact, rendirent les feuilles d'or négativement électriques. »

Plus loin Davy ajoute (page 228) : « Parmi les subs- « tances qui se combinent chimiquement, celles dont « l'énergie électrique est bien connue, présentent des « effets opposés. »

Les faits accusés par Davy sont exacts; mais les causes qui les ont produits, selon lui, ne le sont pas; car ils sont dus non au simple contact, mais bien au frottement les unes sur les autres de substances juxtaposées, telles que les acides végétaux et la chaux, lesquelles étant très-sèches ne sont pas conductrices de l'électricité, et ne peuvent par conséquent s'électriser par contact à la manière de Volta. En effet :

1312. 1re *Expérience.* — On adapte à un excellent électroscope, deux plateaux condensateurs entièrement en platine. On touche l'un des deux avec un morceau

de chaux bien sèche et l'autre avec le doigt, en séparant les plateaux, on trouve qu'il n'y a eu aucun effet électrique produit.

2ᵉ *Expérience*. On met sur une planche de bois bien sec, une couche de chaux calcinée et également sèche, puis on pose dessus avec précaution, sans exercer de frottement, un disque de cuivre fixé à un manche isolant, on le retire et on le met en contact avec l'un des plateaux du condensateur, en touchant l'autre avec le doigt. En répétant un certain nombre de fois de semblables contacts on n'obtient jamais de charge électrique, mais, si au lieu de poser avec précaution le disque de cuivre sur la chaux, on le pose avec frottement, on parvient à charger le condensateur après un petit nombre de contacts, la charge même est d'autant plus forte que le frottement a été plus marqué. La chaux prend l'électricité positive et le métal l'électricité négative.

1313. 3ᵉ *Expérience*. — En substituant à la chaux, un des acides ci-dessus mentionnés, bien sec, on obtient également par le frottement, et non par le simple contact, une charge d'électricité; dans ce cas, le métal prend l'électricité positive et l'acide l'électricité négative. Enfin, en soumettant à l'expérience des cristaux d'acide oxalique et de la chaux, l'un et l'autre bien secs, on obtient des effets analogues, mais seulement quand il y a eu frottement.

Il est donc bien démontré, par là, que les résultats obtenus par Davy sont dus à des effets électriques de frottement et non à l'action électro-motrice de Volta. Il ne pouvait en être autrement, puisque la chaux ainsi que les acides végétaux sont des corps mauvais conducteurs de l'électricité, quand ils sont bien secs; pour le prouver, il suffit de poser sur le plateau supérieur du condensateur l'un de ces corps, la chaux en poudre, par exemple, de manière à former une couche de quelques millimètres d'épaisseur, et de poser dessus un corps conducteur, auquel on communique une très-faible charge d'électricité; on voit alors que la chaux ne transmet pas

au plateau du condensateur cette faible charge Il résulte évidemment de là que la loi donnée par Davy, pour établir les relations entre les affinités chimiques et les effets électriques de contact, n'est pas exacte. Je dis plus, cette loi n'a pas la généralité qu'il lui supposait: en effet, dans le contact suivi de frottement du cuivre avec la chaux, le cuivre prend l'électricité négative et la chaux l'électricité positive, comme Davy l'avait reconnu, mais avec d'autres bases, telles que l'alumine et la magnésie, les effets sont inverses Après la calcination, le dégagement de l'électricité est bien marqué. L'oxide de zinc, très-sec, se comporte de même par rapport au cuivre Ces exemples, qui seraient des anomalies dans la loi de Davy, suffisent pour infirmer cette loi Davy, comme on le voit, a été induit en erreur sur la véritable cause du phénomène

1314 Examinons maintenant le point principal de la discussion, les effets électriques produits quand deux corps conducteurs sont mis en contact, indépendamment de toute réaction chimique des deux corps l'un sur l'autre, ou de la part d'un agent extérieur sur l'un d'eux, mais, auparavant, je commencerai par rappeler les idées singulières et originales de M Peltier, sur les effets électriques de contact, attendu qu'elles reposent sur des expériences assez importantes pour que j'en fasse mention ici. M Peltier ayant pris pour plateaux condensateurs, un plateau d'or et un autre de platine, et les ayant fait communiquer ensemble au moyen d'un fil de platine, le premier s'empara d'un excès d'électricité positive, le second d'un excès d'électricité négative. Ce résultat, quoique en apparence favorable à la doctrine de Volta, peut être interprété d'une autre manière, comme on le verra ci-après Le même physicien ayant préparé ensuite, avec soin, quatre plateaux de verre, en recouvrant le premier de feuilles de platine, le second de feuilles d'or, le troisième de feuilles d'argent, le quatrième de feuilles d'étain, comme je l'ai fait dans mes premières expériences sur le contact, ces plateaux furent successivement vissés à un excellent

électroscope à feuilles d'or, et les trois autres servirent alternativement de plateau supérieur ou de condensateur. Un appareil à source d'électricité constante ayant été préparé, chacun de ses pôles fut mis en communication avec l'un des plateaux, et chaque fois, l'ordre interverti; M. Peltier reconnut alors que tous les métaux ne possèdent pas, au même degré, la faculté de condenser chacune des deux électricités. Voici l'ordre des métaux pour la puissance de condenser l'électricité négative: platine, argent, or, étain. Ayant formé ensuite un couple avec deux plateaux, l'un de platine, l'autre d'or, ce plateau fut placé entre le collecteur en argent et le condensateur en étain, et l'on fit communiquer ensuite ensemble, d'une part, le collecteur et le condensateur au moyen d'un arc en platine isolé, de l'autre, le couple platine et or avec la terre, par l'intermédiaire d'un fil de platine. Les effets varièrent selon que l'un des deux métaux du couple interposé était placé en haut ou en bas. Quand le disque d'or était tourné du côté du collecteur, la charge négative était notable sur ce dernier; si le contraire avait lieu, il n'y avait aucun effet produit, ou bien un effet très-faible. D'autres couples interposés, communiquant également avec le globe, donnèrent lieu à des résultats analogues; de sorte qu'on a toujours obtenu une différence d'état dans les plateaux en contact, selon la nature du métal de la face du couple qui regardait chaque plateau.

1315. M. Peltier a cru devoir conclure de ces expériences et d'autres, que je ne rapporte pas ici, que les métaux, dans leur état d'équilibre naturel, possèdent des quantités différentes d'électricité, soit positive, soit négative, suivant leur nature, qu'aucun corps ne saurait leur enlever, lesquelles sont inhérentes à leur nature, et que c'est en vertu de cette électricité propre, que les deux plateaux du condensateur reçoivent des charges différentes, quand on les fait communiquer ensemble, après avoir interposé entre eux un couple de deux métaux, non isolé, suivant que l'un de ces deux métaux

est placé en haut ou en bas. C'est en s'appuyant également sur cette électricité inhérente aux particules des métaux, qu'il est bien difficile d'admettre, qu'il a voulu expliquer les effets électriques de contact dans lesquels on n'aperçoit aucune trace d'actions chimiques

M. Delarive, qui a observé aussi quelques faits analogues, les a attribués, et je partage assez son opinion, soit à une action chimique de la part de l'air ou des agents extérieurs sur les corps, soit à des actions mécaniques, soit enfin à des causes inaperçues qui troublent l'état d'équilibre de leurs molécules Pour remonter à la cause du phénomène, j'ai repris quelques-unes des expériences de M Peltier, en les variant et en me servant d'un excellent électroscope, muni de deux plateaux condensateurs en platine.

Si l'on touche le plateau inférieur avec une lame d'or et le plateau supérieur avec un doigt humecté d'eau distillée et qu'on les sépare, on n'obtient jamais de charge électrique, comme je l'ai déjà dit, et cela quelle que soit la sensibilité de l'électroscope, pourvu qu'on évite les effets de frottement, qui sont des causes efficaces de dégagement d'électricité, comme on en a la preuve, en substituant aux électroscopes ordinaires des doubleurs qu'on à abandonnés en raison de cela depuis longtemps

Mettons ce fait en regard de celui qui a été obtenu par M Peltier

En superposant l'un sur l'autre deux plateaux condensateurs, l'un de platine, l'autre d'or, et établissant la communication entre ces plateaux au moyen d'un arc de platine, tenu à la main par un manche isolant, le platine prend l'électricité négative, l'or l'électricité positive.

Les partisans de la doctrine du contact considèrent ce fait comme une preuve de l'existence de la force électro-motrice, attendu qu'il n'y a pas ici de contact du doigt mouillé avec un métal. M. Peltier soutient que l'état négatif du platine est inhérent à sa nature et que les effets observés sont dus à la différence des états

électriques propres des deux métaux, qui s'influencent réciproquement au contact.

Je ferai remarquer d'abord que, si l'action électromotrice était ici la cause du phénomène, ou bien si le platine était négatif par suite d'une oxidation produite par le contact du doigt mouillé, pourquoi n'ai-je obtenu aucun résultat en touchant l'un des plateaux de platine avec une lame d'or? Les effets auraient dû être les mêmes. La réponse me paraît difficile. Tout ce que l'on peut dire pour l'instant, c'est que le platine, quelle qu'en soit la cause, est dans un état négatif permanent, qui ne peut être détruit que dans les cas que je vais indiquer.

1316. Opérons toujours avec les deux plateaux condensateurs, l'un d'or et l'autre de platine, placés l'un sur l'autre, si l'on touche le premier, quelle que soit sa position par rapport à l'autre, avec un doigt humecté d'eau, et le second avec un doigt humecté d'une solution étendue d'eau régale, l'appareil ne se charge pas. Le contact avec le platine du doigt humecté d'eau acidulée a donc suffi pour détruire l'état négatif de ce dernier. En opérant avec une solution plus concentrée, les effets sont encore nuls, bien qu'il se produise une réaction chimique, qui rend le platine négatif, mais il n'en est plus de même si l'on substitue à la solution d'eau régale une solution alcaline, dans ce cas on a des effets électriques très-marqués. En expérimentant avec les deux plateaux condensateurs en platine, ou les deux plateaux d'or, on a des effets analogues et dépendants de la cause que je vais signaler, je ferai d'abord remarquer qu'il faut tenir compte des effets électro-chimiques produits dans le contact des solutions acides ou alcalines avec les liquides qui humectent les doigts, dans ces diverses réactions, les acides prennent l'électricité positive, qui est transmise au plateau, et les liquides humectants, ou les doigts, l'électricité négative. Avec les alcalis, les effets sont inverses. Ces résultats ne peuvent être l'objet d'aucun doute.

1317. Je reprends le cas où le plateau de platine est

en présence du plateau d'or, quand on touche le premier avec un acide, il n'y a aucun effet produit, parce que l'électricité positive qu'a prise l'acide dans sa réaction sur l'eau du doigt, neutralise l'électricité contraire que possède le platine. Avec la potasse, les effets doivent être exaltés, attendu que la potasse communique de l'électricité négative au platine, laquelle s'ajoute à celle qui lui est propre. Ces expériences tendent donc à prouver que réellement le platine a une électricité propre, indépendamment de tout contact avec un corps humide; il est difficile cependant d'admettre encore une électricité inhérente aux corps, indépendamment de toute action physique, chimique ou calorifique. Je m'en tiens au fait, sans me prononcer sur la cause. Avec l'or on ne trouve pas les mêmes effets qu'avec le platine, du moins à un degré aussi marqué.

Si le platine possède réellement un état négatif qui lui est propre, quelle qu'en soit la cause, les autres métaux devraient avoir également un état électrique dépendant de leur nature, lequel compliquerait les effets électriques produits, quand ils sont attaqués par des agents chimiques.

Si cet état électrique existait, il devrait prédisposer plus ou moins les molécules de chaque métal à se combiner avec un acide ou avec un alcali, selon cet état. Ainsi le platine, qui est négatif relativement aux autres métaux, doit repousser les acides avec lesquels il tend à se combiner, et attirer au contraire les alcalis, ce serait en partie à cette cause qu'il faudrait attribuer le peu d'affinité de ce métal pour les acides, tandis qu'il en a une assez marquée pour les alcalis, ainsi que l'action qu'exerce le platine en éponge sur l'hydrogène, qui, étant condensé et se trouvant dans un état électrique convenable, se combine aisément avec l'oxigène.

1318. En partant de la supposition de M. Peltier, voici comment on peut se rendre compte des effets précédents, en ne s'attachant seulement qu'à l'état constamment négatif du platine.

Soient A B (fig. 1) le plateau condensateur en platine, et CD le plateau en or, séparé du premier par la couche isolante I. Admettons, ce qui est confirmé au reste par l'expérience, que le platine soit constamment négatif, quand on lui enlèvera son excès d'électricité négative, il devra le prendre aussitôt aux dépens de son électricité naturelle, dès lors celle-ci étant décomposée, son électricité positive devra être chassée dans les corps environnants, tandis que la négative se portera sur la surface du platine. Cela posé, en établissant la communication métallique entre A B et C D, l'électricité positive qui est chassée de A B se portera sur C D, et viendra se condenser dans les parties contigues à la couche isolante, en vertu de l'action exercée par l'électricité négative de A B, la quantité qui s'en condensera dépendra de l'excès d'électricité libre que possède ordinairement le platine, et de l'épaisseur de la couche isolante.

En partant toujours des mêmes principes, il est facile de montrer pourquoi on n'obtient aucun effet avec deux plateaux condensateurs en platine, quand on touche l'un d'eux avec une lame d'or, et l'autre avec un doigt mouillé. Soient P et P′ les deux plateaux de platine, et O la lame d'or, P et P′ sont toujours négatifs au même degré de tension, ainsi en touchant l'un d'eux avec une lame d'or et l'autre avec le doigt, on ne change rien à cet état, puisque si on enlève de part et d'autre la même quantité d'électricité négative, il s'opérera aussi de chaque côté la même décomposition, de sorte que l'équilibre ne saurait être troublé, dès lors il ne peut y avoir d'électricité condensée sur aucun des deux plateaux qui ne possèdent que la quantité d'électricité qui leur est propre.

§ II. *Des effets électriques produits dans le contact des gaz et des métaux non oxidables.*

1319. Lorsque deux lames de platine, en communication chacune avec l'un des pôles d'une pile voltaïque,

plongent dans de l'eau, qui est décomposée par l'action du courant, si l'on interrompt, au bout de quelques instants, la communication, et qu'ayant détaché les lames des extrémités de la pile, on mette les deux bouts libres en relation avec un multiplicateur, tandis que les deux autres restent plongés dans l'eau, on a un courant dirigé en sens inverse du premier. Avec un multiplicateur très-sensible, on obtient les mêmes effets, même lorsque les deux lames de platine ont servi à transmettre dans un liquide un courant électrique provenant de l'action d'un seul couple. La faculté qu'acquièrent les lames dans ce cas, n'appartient seulement qu'aux parties qui ont été immergées dans l'eau, pendant que la pile fonctionnait, car si l'on enlève ces parties, et qu'on plonge dans l'eau celles qui étaient au-dessus, on n'observe aucun effet. L'explication que j'ai donnée, il y a longtemps, de ce phénomène vient d'être sanctionnée en quelque sorte par les expériences de M. Matteucci. Voici cette explication. « Quand deux lames de « platine, plongeant dans une solution saline, font par« tie d'un circuit voltaïque, la surface de la lame positive « se recouvre d'éléments acides et d'oxigène, et la sur« face de la lame négative d'éléments alcalins et d'hydro« gène ; ces deux lames se trouvent donc dans le même « état que si la première avait été mise en contact avec « une solution acide et l'autre avec une solution alca« line, dans les deux cas, les effets sont les mêmes. »

Quoique l'expérience n'eût pas été faite alors avec l'oxigène et l'hydrogène, on pouvait supposer que ces deux gaz, en réagissant l'un sur l'autre par l'intermédiaire du liquide, devaient se comporter comme l'acide à l'égard de l'alcali.

1320. M. Matteucci ayant rempli deux petites cloches de verre, portant des divisions donnant des dixièmes de centimètre cube, de gaz oxigène et de gaz hydrogène puis, il introduisit dans la cloche d'hydrogène des lames de platine qui avaient servi de pôle positif, et sur lesquelles il y avait eu par conséquent un dégagement

d'oxigène, des lames négatives furent déposées dans les cloches d'oxigène. Le volume du gaz, examiné vingt minutes après l'introduction des lames, avait sensiblement diminué. En renversant l'expérience, c'est-à-dire, en introduisant les lames positives dans le gaz oxigène et les négatives dans l'hydrogène, il obtint au contraire des augmentations de volume correspondant, en général, aux diminutions qui avaient eu lieu dans l'autre cas. Ces expériences montrent que des couches d'hydrogène et d'oxigène se forment sur les lames décomposantes et y persistent. Pour mettre ce fait hors de doute M. Matteucci a placé des lames de platine dans l'hydrogène et d'autres lames dans l'oxigène, il les retira après un certain temps, les mit en relation avec un multiplicateur et les plongea dans de l'eau distillée. Les déviations de l'aiguille aimantée furent considérables, la direction du courant fut la même que si les lames avaient servi à décomposer l'eau. Il résulte de là que ces lames, dans l'un et l'autre cas, avaient acquis la même propriété.

Il faut un temps très-long pour faire disparaître cette propriété : une exposition à l'air, de cinq ou six heures, ne suffit pas; il est nécessaire d'employer la chaleur rouge.

Les lames de platine et d'or sont les plus propres à cette formation. Les courants sont encore les mêmes en employant une lame qui n'a pas été mise en contact avec l'un des gaz, et une autre qui a été plongée pendant quelque temps dans l'un d'eux, on voit donc que l'hydrogène et l'oxigène, séparés par la pile, en se déposant en couches sur les lames décomposantes, sont la cause de la faculté qu'acquièrent alors les lames de produire un courant secondaire.

1321. M. Peltier a reconnu, de son côté, que sous l'influence d'un courant électrique une colonne d'eau se charge d'électricité positive du côté du pôle positif, et d'électricité négative de l'autre côté, et que ces deux états électriques diminuent jusqu'au milieu qui est à l'état neu-

tre. Les deux électrodes étant détachés de la pile et réunis au moyen d'un fil de métal, on obtient un courant en sens inverse du premier. Le courant secondaire augmente d'autant plus qu'on éloigne les lames immergées et qu'on les rapproche des points où se trouvaient les électrodes.

En faisant passer un courant de gaz hydrogène à travers de l'eau, puis mettant cette eau en contact avec de l'eau ordinaire, on a obtenu un courant semblable à celui qu'on avait eu dans le premier cas; l'eau hydrogénée jouait le rôle d'alcali. Ce courant secondaire n'est que le produit d'une action chimique.

L'expérience de M. Matteucci, relative à la polarisation des lames de platine, est donc le complément de celle que j'ai rapportée dans le *Traité de l'Électricité et du Magnétisme* (1). Mais l'effet produit est-il dû au simple contact de l'oxigène et de l'hydrogène avec le platine, ou bien à la réaction de ces deux gaz l'un sur l'autre, par l'intermédiaire de l'eau? C'est ce que nous aurons l'occasion plus loin d'examiner.

1322. On doit rapporter à la même cause les effets que l'on observe quand des lames de platine, qui ont séjourné plus ou moins de temps dans l'air, sont mises en contact avec de l'eau distillée.

Lorsque l'on plonge dans une solution de nitrate de potasse une lame de platine et une lame d'or en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur, on a une décharge instantanée, c'est-à-dire, qu'après un certain nombre d'oscillations l'aiguille revient à zéro. Il est bien entendu que toutes les précautions doivent être prises pour que les lames de platine soient très-propres. Si l'on interrompt pendant quelques instants la communication et qu'on la rétablisse de nouveau, on a une nouvelle décharge, cet effet, qui est analogue à ceux que j'ai décrits précédemment, peut se reproduire

---

(1) Tom III, p. 109.

pendant plusieurs jours. Cela posé, si, après avoir lavé avec de l'eau distillée, à plusieurs reprises, deux lames de platine et les avoir fait rougir, on les plonge dans de l'eau distillée, on obtient en général un courant dû à diverses causes ; ce courant cesse plus ou moins promptement. Quand les effets électriques ont cessé, si l'on interrompt le circuit, en enlevant une des chevilles du multiplicateur, et que l'on rétablisse immédiatement la communication, il n'y a aucun effet électrique produit; mais si l'on retire de l'eau une des lames, que nous appellerons A, et qu'on la replonge quelques instants après, il se manifeste un courant qui annonce que cette lame a pris au liquide l'électricité négative. En la laissant plongée longtemps dans l'eau, la retirant et la replongeant de nouveau quelques secondes après, on n'obtient qu'un faible courant, mais si on la laisse longtemps dehors, afin que l'eau adhérente à la surface s'évapore entièrement, on obtient, en replongeant la lame dans la solution, un courant dirigé dans le même sens que le précédent, mais beaucoup plus intense. Les effets étant très-variables, il est inutile de donner ici les déviations obtenues.

En insufflant de l'air sur la lame, pour évaporer plus promptement le liquide, on obtient les mêmes effets. Dans le cas précédent, comme dans celui-ci, l'eau en s'évaporant permet à l'air d'adhérer en plus grande quantité sur la lame, d'où résulte un courant quand on replonge celle-ci dans l'eau, par suite de la réaction de l'oxigène sur le platine ou sur l'eau.

1323. L'expérience suivante montre bien que c'est à la réaction de l'oxigène qu'est due l'augmentation dans l'intensité du courant. Si l'on fait rougir fortement une des lames de platine, afin de volatiliser l'eau adhérente à sa surface, en évitant le contact immédiat de la flamme et la plongeant dans l'eau après le refroidissement complet, l'aiguille est lancée à 90°. Reprenons actuellement l'expérience de M. Matteucci dans laquelle le courant est également instantané. Soient deux tubes fermés par

un bout et dans chacun desquels on place une lame de platine, fixée à un fil de même métal, l'un des tubes est rempli de gaz oxigène, l'autre de gaz hydrogène, ces deux tubes plongent dans de l'eau distillée.

Au bout de quelques heures, on fait sortir une partie du gaz de chaque tube, afin de faire rentrer assez d'eau pour que les lames de platine soient immergées, puis on met les deux bouts libres des fils en communication avec les deux extrémités du fil du multiplicateur; on a alors un courant instantané, qui n'est qu'une décharge électrique Pour la reproduire, il faut que le circuit soit interrompu pendant quelque temps. Supposons, un instant, que le courant primitif polarise les lames de manière à produire un courant dirigé en sens inverse, qui détruise l'effet du premier, et que ce soit là la cause du phénomène, dans ce cas la lame qui était en contact avec l'oxigène se couvrira d'hydrogène, de sorte que la surface sera en contact avec ces deux gaz, dans les conditions voulues pour se combiner, puisqu'ils ont perdu leur état elastique, mais comme cette combinaison ne s'opère pas quand le circuit est fermé, il faut admettre que la décharge instantanée est produite par une accumulation d'électricité et sur la lame et dans le liquide, quelle que soit la cause du dégagement de l'électricité.

1324 Jusqu'ici il n'a été question que des effets électriques résultant du contact de l'hydrogène, de l'oxigène, et de l'air avec le platine. Nous allons voir actuellement ce qui arrive quand on substitue à l'oxigène, l'azote Deux tubes, remplis d'azote, ont été préparés de la manière indiquée précédemment, ainsi que deux tubes remplis d'hydrogène et deux autres remplis d'oxigène; dans chaque tube était également placée une lame de platine, toutes les lames étaient égales, afin que les effets fussent comparables Prenons d'abord un tube rempli d'azote et un tube rempli d'hydrogène. En établissant la communication avec les deux bouts du fil du multiplicateur, on a eu un courant dont la direction, dans les premières heures, n'était pas constante, à cause des substances

étrangères qui adhéraient aux surfaces métalliques, mais vingt-quatre heures après, la direction devint constante, l'azote s'est comporté comme l'oxigène, dans l'expérience précédente, c'est-à-dire qu'il a pris au liquide l'électricité positive. En comparant maintenant l'azote et l'oxigène, on trouve que l'oxigène communique au platine, avec lequel il est en contact, l'électricité positive.

L'hydrogène et l'azote se comportent comme l'hydrogène et l'oxigène; de sorte que l'azote est électro-positif par rapport à l'hydrogène, et électro-négatif par rapport à l'oxigène.

Il est donc bien prouvé maintenant que lorsque deux lames de platine sont recouvertes de différents gaz, on obtient un courant dès l'instant où l'on plonge dans l'eau ces lames communiquant entre elles au moyen d'un fil de métal.

Nous sommes portés à croire que cet effet est dû à la réaction lente des deux gaz l'un sur l'autre, par l'intermédiaire de l'eau, réaction dont l'intensité est augmentée par l'action chimique du courant qui doit se manifester quand le circuit est fermé.

1325. L'expérience suivante, due à M Grove, vient à l'appui de cette opinion : on prend deux tubes de verre fermés par une de leurs extrémités; après avoir fait passer dans l'un une lame de platine et de l'hydrogène en quantité suffisante pour occuper la moitié de la capacité, et dans l'autre une lame de même métal et de l'oxigène en même quantité, on plonge les deux tubes dans de l'eau légèrement acidulée, et l'on fait communiquer la lame en contact avec l'oxigène, avec le zinc d'un couple voltaique, et la lame en contact avec l'hydrogène, avec le cuivre du même couple. Au moyen de cette disposition, la première est négative et la seconde positive. Les choses étant ainsi disposées, on ne tarde pas à voir l'eau s'élever rapidement dans les deux tubes, deux fois plus dans celui où se trouve l'hydrogène que dans l'autre. Il y a donc eu, sous l'influence des lames de platine, décomposition et formation d'eau, deux actions qui sont

ici dépendantes l'une de l'autre. On voit par là que la tendance du platine à déterminer la combinaison du gaz qui se trouve dans les deux tubes, est de beaucoup augmentée lorsque l'état électrique de chaque lame est modifié par le passage du courant provenant du couple voltaïque, lequel est dirigé dans un sens différent de celui qui résulte de la combinaison lente des deux gaz primitivement employés. Cette différence dans l'intensité du courant suffit pour décomposer l'eau et produire les effets indiqués.

Dans l'expérience précédemment citée (1324), on n'a point un couple voltaïque pour augmenter l'intensité du courant, mais bien un courant résultant de la réaction des deux gaz sur l'eau, laquelle, quoique très-faible, doit tendre à produire des effets semblables.

1326. Les phénomènes relatifs à la polarisation des conducteurs, qui ont servi d'électrodes, ont une telle importance que je ne dois omettre aucun des faits qui ont été observés pour les étudier. Voici le résultat des dernières recherches qui ont été faites à ce sujet par M. Schœnbein.

Un fil de platine, polarisé soit positivement, soit négativement, c'est-à-dire, qui a servi d'électrode négatif ou positif, perd son état électrique particulier, quand on élève sa température jusqu'au rouge.

Un fil de platine, polarisé positivement, c'est-à-dire, dont la surface est recouverte d'hydrogène, perd son pouvoir lorsqu'il est plongé seulement, pendant un instant, dans une atmosphère de chlore. Le fait s'explique de lui-même.

Un fil de platine, polarisé positivement, perd son état électrique lorsqu'il est plongé pendant quelques secondes dans de l'oxigène. Réciproquement, un fil polarisé négativement perd de sa faculté quand il est plongé dans l'hydrogène.

Un fil de platine, polarisé d'une manière quelconque, n'éprouve aucune influence de la part du gaz acide carbonique.

Le platine, l'or et l'argent exposés pendant quelques instants dans une atmosphère de chlore, se comportent comme un fil polarisé négativement, c'est-à-dire, comme s'ils étaient recouverts d'oxigène.

L'acide sulfurique, très-étendu d'eau et dans lequel on a dégagé de l'hydrogène, est positif à l'égard du même liquide, qui ne renferme pas d'hydrogène, quand les deux liquides sont séparés par une membrane et sont mis en relation avec le multiplicateur au moyen de fils de platine Si l'on emploie au lieu de platine des fils d'or ou d'argent, on n'obtient aucun courant.

En se servant des mêmes liquides, mais dont l'un contient un peu d'oxigène et l'autre n'en renferme pas, on n'obtient aucun courant, soit qu'on se serve de fils de platine d'or ou d'argent pour fermer le circuit.

Une solution d'hydrogène perd sa faculté d'exciter un courant lorsqu'elle est mêlée avec une certaine quantité de chlore.

Enfin l'acide chlorhydrique, polarisé positivement, perd sa polarité lorsqu'il est mêlé avec une certaine quantité de chlore, et le même acide, polarisé négativement, perd son état particulier lorsqu'il est traité avec une quantité suffisante d'hydrogène

M. Schœnbein admet, comme nous, que les courants secondaires, produits par les fils et les fluides polarisés, sont dus à une action chimique ordinaire, c'est-à-dire, à la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, ou à celle du chlore avec l'hydrogène.

§ III. *De l'oxidation du platine.*

1327 On a vu précédemment (1317, 1318) que le platine se trouvait constamment dans un état négatif, qui ne pouvait être détruit que dans les cas indiqués, et dont la cause paraissait inconnue, mais cependant qu'il y avait quelque probabilité pour croire que cet état était dû à une réaction chimique lente. C'est ce motif qui

m'engage à exposer ici les recherches de M. Delarive sur l'oxidation du platine dans des circonstances où on ne l'a pas encore observée.

M. Delarive a observé que des fils de platine, lavés avec le plus grand soin, soit dans la potasse, soit dans les acides, se recouvre en peu d'instants d'une poudre noire, quand, après les avoir plongés dans une solution acide très-pure, on s'en sert pour transmettre dans cette solution une succession rapide de courants instantanés, dirigés alternativement en sens contraires La poudre noire est du platine parfaitement métallique, dans un grand état de division; l'oxidation et la réduction qui succèdent avec une grande rapidité sur la surface des fils par l'effet des couches d'oxigène et d'hydrogène qui les recouvrent alternativement, finissent par désagréger les particules métalliques.

On a fait passer le courant d'une pile de dix ou douze couples, faiblement chargée, dans de l'eau distilée, légèrement acidulée, au moyen de deux surfaces de platine d'une étendue très-différente · l'une avait un millimètre d'épaisseur et deux à trois millimètres de longueur; l'autre formait un long fil ou bien était un morceau de platine spongieux. Les surfaces étaient très-nettes, et tout était disposé pour recueillir les gaz dégagés La grande surface fut mise d'abord en relation avec le pôle négatif, et la petite avec l'autre pôle On eut alors deux fois autant d'hydrogène que d'oxigène On changea les pôles, et on trouva qu'il manquait deux à quatre centimètres cubes d'oxigène pour que son volume fût exactement la moitié de celui de l'hydrogène. Si on rétablissait les choses dans l'état où elles étaient dans la première expérience, on ne retrouvait plus la quantité d'hydrogène qui avait été dégagée. Il en était de même si, après avoir lavé et décapé la grande lame, on la laissait sécher dans l'air avant de la plonger dans la solution qui devait être décomposée Ces faits nous montrent que la grande lame se recouvrait d'une légère couche d'oxide, et que l'hydrogène avait été employé à dé-

s'oxider le platine. Aussi ce gaz ne se dégageait-t-il que quelques instants après.

M. Delarive ayant décomposé de l'eau légèrement acidulée dans l'intérieur d'un eudiomètre au moyen des deux mêmes surfaces, la plus petite communiquant avec le pôle positif, il fit détoner le mélange gazeux. Il obtint un excès d'hydrogène, preuve qu'une portion de l'oxigène avait servi à l'oxidation. Les pôles de la pile ayant été changés, tout en conservant l'hydrogène, il fit détoner le produit gazeux, et le résidu disparut presque entièrement : ce qui confirme l'explication précédente.

1328. Ces faits et d'autres du même genre, ont porté M. Delarive à admettre que le platine, et probablement les autres métaux de la même classe, ne doivent plus être rangés dans la classe des métaux non oxidables. Mais ce qui établit entre ces métaux et les autres, c'est-à-dire, les métaux oxidables, une grande différence, c'est que les premiers ne se recouvrent dans les mêmes circonstances où les autres s'oxident complétement, que d'une couche d'oxide très-superficielle, sans qu'il y ait pénétration ou cémentation, probablement à cause de leur grande densité, mais si l'oxidation et la réduction ont lieu alternativement, très-fréquemment sur la même surface, celle-ci finit par se désagréger. Cette désagrégation peut avoir plusieurs degrés, suivant l'intensité de la force agissante. C'est ce motif pour lequel les fils de platine qui ont servi pendant longtemps à décomposer l'eau par l'action des courants, et dont chacun a servi alternativement de pôle positif et de pôle négatif, présentent une apparence rugueuse par suite des parties enlevées par les oxidations et réductions successives.

On voit par là avec quelle facilité le platine s'oxide sous l'action d'un courant électrique; mais comme il suffit d'une oxidation excessivement faible, qui échappe souvent aux investigations des chimistes, pour produire des effets électriques appréciables à nos appareils, il peut donc se faire que dans nombre de cas le platine

doive son état électrique à une oxidation non encore appréciée.

M. Delarive fait observer, à cet égard, que dans des expériences où l'on s'occupe de recherches relatives au développement de l'électricité, soit sous la forme de courant, soit à l'état de tension, en employant du platine, il faut tenir compte, dans les effets observés, de la faculté que possède le platine de pouvoir s'oxider et se désoxider facilement. Je partage entièrement son opinion sur ce point, et je crois que l'on s'est un peu trop hâté d'annoncer les résultats que l'on avait obtenus, comme des arguments irréfragables en faveur de la théorie du contact.

1329. Je saisis cette circonstance pour rectifier l'opinion que plusieurs personnes se sont faite de la théorie chimique de l'électricité voltaïque telle que l'a conçue M. Delarive. On lui a attribué cette opinion, que tout développement est dû à une action chimique; mais telle n'a jamais été sa pensée. Il a constamment soutenu que le contact de deux substances hétérogènes n'est pas par lui-même une source d'électricité, quoiqu'il puisse être souvent une condition indispensable pour que l'électricité dégagée par d'autres causes puisse devenir sensible. Quant à ses causes, il admet toutes celles que j'ai déjà fait connaître, c'est-à-dire, la chaleur, la pression, le frottement, l'action chimique, etc.

Cette manière de voir est partagée par toutes les personnes qui ont fait une étude suivie des phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité.

§ IV. *Observations relatives à une nouvelle théorie du contact.*

1330. Je ne crois pas trop m'avancer en déclarant que quiconque veut défendre la théorie du contact de Volta, ou en imaginer une autre, sans avoir étudié préalablement les phénomènes électro-chimiques, dont on a fait un examen approfondi depuis vingt ans, est dans une fausse

route et ne peut que se tromper dans ses investigations Je ne prétends nullement dire qu'il n'y ait pas dans le contact des corps une action qui modifie les effets électriques produits dans les réactions chimiques, mais je pense que cette action n'est pas la cause immédiate des effets observés, et qu'il faut la chercher dans les circonstances qui peuvent troubler l'état d'équilibre des molécules des corps.

M. C. J. B. Karsten nous offre une preuve de ce que je viens d'avancer; dans une lettre adressée à M. de Humboldt (Berlin, 1836) (1), il expose ses vues sur l'électricité de contact. Les conséquences auxquelles il est conduit, ne tendent rien moins qu'à ébranler les théories proposées jusqu'ici pour expliquer les effets de contact. Ce savant distingué, sans s'occuper des diverses causes qui président au dégagement de l'électricité et que l'on doit mettre en première ligne dans une question de cette nature, commence par poser en principe que le dégagement de l'électricité est un simple effet de contact.

Les métaux qu'il a soumis à l'expérience sont le platine, l'argent, le cuivre et le zinc, en fils enroulés en hélice à l'une de leurs extrémités, et plongeant successivement dans des dissolutions acides, alcalines ou salines, capables de conduire l'électricité. Les effets produits ont été observés avec un électroscope à feuilles d'or, muni de deux plateaux condensateurs, formés avec deux des quatre métaux employés.

Ce mode d'expérimentation introduit dans les résultats des causes d'erreurs qui ne permettent pas d'en tirer des conséquences exactes; car il est parfaitement démontré aujourd'hui que l'on ne peut compter sur les effets du condensateur qu'autant que *les deux plateaux* sont en platine, en or, ou en verre doré Si ces plateaux sont en zinc, en cuivre ou en argent, le contact du doigt mouillé, avec l'un d'eux, ou la réaction de l'air hu-

(1) Biblib univ de Genève, Tom v, p. 161.

mide, suffit pour faire naître des effets électriques qui compliquent les effets que l'on a en vue, au point de masquer la véritable cause de leur production. Dès lors il faut renoncer, avec ce mode d'expérimentation, à obtenir des résultats exacts, dont on puisse tirer des conséquences en faveur de telle ou telle théorie

Quoi qu'il en soit, passons outre. Voici les principales expériences sur lesquelles M. Karsten fonde sa théorie :

1331 1re *Expérience* Un fil de zinc, plongeant par l'un de ses bouts dans un liquide conducteur, manifeste à l'autre bout libre, sur un condensateur de même nature, l'électricité négative. Des plateaux en cuivre ou en argent ne changent rien aux résultats Un fil de cuivre substitué au fil de zinc, communiquant avec un plateau en cuivre ou en argent, donne également, quoiqu'avec moins de certitude, de l'élétricité négative Avec un plateau en zinc le résultat reste incertain, des fils de platine ou d'argent ne donnent aucun effet

Ces effets, qui sont connus depuis longtemps, peuvent être expliqués au moyen de l'électricité dégagée dans la réaction du liquide sur le métal, sans avoir recours aux effets de contact. Dans cette réaction le liquide prend l'électricité positive, le métal l'électricité négative. L'intensité de l'électricité dégagée dépend de diverses causes qui font varier les effets, entre autres de l'énergie de l'action chimique, de l'action du liquide sur les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces, d'une décapation plus ou moins prompte, etc.

2e *Expérience*. En plongeant un fil de zinc, soudé à un fil de cuivre, dans le liquide, de manière à laisser libre la soudure et le second métal, le cuivre transmet à un plateau en cuivre ou en argent l'électricité négative Avec un plateau en zinc l'effet est presque nul. Quand le cuivre est immergé, le plateau en zinc, en contact avec le zinc, accuse encore de l'électricité négative, mais avec une tension extrêmement faible. Il en est de même avec des plateaux en argent ou en platine. Dans le premier cas, en remplaçant le cuivre par l'argent ou

le platine, l'effet ne change pas; dans le second, tout effet disparaît

Ces faits peuvent encore être expliqués parfaitement au moyen de l'électricité dégagée dans l'action chimique, sans avoir recours à d'autres causes.

Le second métal, qui est en dehors du liquide, sert seulement de conducteur pour transmettre au condensateur l'électricité que prend le métal dans sa réaction sur le liquide. Le plus ou moins d'effets produits dépend du plus ou moins de facilité qu'éprouve l'électricité à franchir les obstacles qui se trouvent sur son passage, et d'effets secondaires dont il est souvent difficile de se rendre compte.

3e *Expérience* La soudure des deux métaux plonge dans le liquide On examine alors l'état des extrémités libres. Le plateau en zinc touchant le fil de zinc recueille une très-faible électricité positive; s'il touche le fil de cuivre, l'électricité est presque nulle Le plateau de cuivre, mis en contact avec le zinc, ne donne pas d'effets sensibles. Avec le cuivre, il donne une faible électricité négative L'argent ou le platine, remplaçant le fil de cuivre, le résultat est le même, remplaçant le zinc, le cuivre se comporte, quoique plus faiblement, comme le zinc.

La soudure étant plongée dans le liquide, il y a nécessairement un courant qui va du zinc au cuivre, en traversant le liquide; de sorte qu'à chaque instant l'électricité positive de la surface du zinc se décharge sur le cuivre Mais d'où vient donc l'électricité positive recueillie par le plateau de zinc? Dans un article critique très-bien fait, qui se trouve dans la *Bibliothèque universelle de Genève*, tom. v, p 161, on attribue cet effet, et avec raison, à l'action de l'air humide sur les parties libres des deux métaux soudés; j'ajouterai particulièrement sur le zinc, dont l'action doit se manifester ici

4e *Expérience*. Le fait rapporté dans cette expérience est relatif à l'état des deux métaux, qui plongent dans le même liquide, sans se toucher. Si les fils employés

sont de zinc et de cuivre, le premier, quelle que soit la nature du plateau, donne toujours des indices d'électricité négative, et le cuivre des indices d'électricité positive. Ces effets, que j'ai fait connaître il y a longtemps, proviennent de la différence des actions chimiques produites par le liquide sur chacun des deux métaux, différence qui est en faveur du zinc, métal le plus oxidable; dès lors ce métal doit toujours prendre l'électricité négative.

5ᵉ *Expérience*. Dans cette expérience et d'autres qui la suivent, M. Karsten a eu pour but d'étudier l'état électrique de la partie immergée d'un métal, indépendamment de l'emploi d'un conducteur étranger ou extérieur au liquide. Il cite, comme premier fait, qu'un métal, notamment le zinc, qu'on laisse quelque temps en vase clos dans un liquide coloré par une teinture végétale rougie par un acide, rétablit la couleur bleue de l'infusion, et en même temps subit une oxidation. Ce fait est une conséquence de l'oxidation du zinc, qui met toujours en liberté dans la solution, soit de la soude ou de la potasse, si elle contient un sel alcalin, soit de l'ammoniaque par suite de la réaction de l'hydrogène mis à nu, sur l'azote de l'air contenu dans l'eau.

Jusqu'ici il n'y a rien de nouveau dans les expériences de M. Karsten; mais il n'en est pas de même dans l'expérience suivante :

Un fil de platine enroulé en spirale, et terminé en pointe, a été étroitement enveloppé d'une feuille de zinc, sans être cependant avec elle en contact immédiat; puis la pointe a été mise sur une petite masse de chlorure d'argent, substance insoluble dans l'eau. Quelque temps après, on reconnut sous la pointe des traces de réduction, qui cessèrent bientôt d'augmenter. Cet effet n'avait jamais lieu sans la présence du zinc, et à moins que la surface fût fraîchement décapée. M. Karsten a conclu de là que le platine a dû soutirer au liquide l'électricité négative, et qu'ainsi la partie immergée du zinc était positive. Ce fait intéressant s'explique très-bien dans la théorie électro-

chimique. L'électricité positive provenant de l'oxidation du zinc est soutirée inégalement au liquide par toute la surface de platine, en plus grande quantité par la pointe que par les autres parties, d'où résulte un courant qui rend la pointe négative

M Delarive est disposé à croire que ce phénomène est dû simplement à la difficulté qu'éprouve l'électricité positive du liquide à passer dans le platine, vu sa faible tension et la résistance que présente à sa propagation son passage du liquide dans le platine Cette difficulté étant moindre vers la pointe, c'est par là que pénètre l'électricité positive, ce qui explique la décomposition du chlorure d'argent

M Karsten suppose, au contraire, que l'électricité du liquide est prise par le fil de platine entier, et qu'elle sort au lieu d'entrer par la pointe; il est donc obligé d'admettre que cette electricité est négative; tandis que, si elle entre par la pointe, comme cela doit être d'après ce que nous venons de voir, elle doit être positive Le résultat observé par M. Karsten est d'accord avec la loi du dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, tandis qu'elle est opposée aux conséquences que l'auteur croit pouvoir en tirer.

1327. L'auteur s'est appliqué du reste à démontrer l'insuffisance de la théorie de Volta, ainsi que la nécessité de reconnaître que la cause principale de l'activité de la pile existe à la surface de contact du liquide et du métal.

Voici les théorèmes sur lesquels s'appuie ce système.

1° Les métaux, peut-être tous les corps solides, deviennent positifs en étant plongés dans un liquide, celui-ci devient négatif.

2° Quand le corps n'est pas immergé en entier, les deux parties prennent des états électriques contraires

3° Les corps diffèrent beaucoup, quant à leur force électromotrice, avec un même liquide, et c'est sur cette différence que repose l'activité électrique, chimique et magnétique de la pile.

4° Quand deux électromoteurs de force différente sont plongés dans un même liquide, sans y être en contact, le plus faible prend l'électricité opposée à celle du plus fort, et devient par conséquent négative.

5° La partie de l'électromoteur solide la plus faible possède également l'électricité contraire à celle de la partie immergée.

6° L'énergie électromotrice d'un liquide dépend de sa faculté d'acquérir, par la présence de deux électromoteurs solides dissemblables, un état en vertu duquel il cède plus ou moins facilement ses électricités contraires aux mêmes électromoteurs. Tous les liquides mauvais conducteurs possèdent en général cette faculté; mais elle n'appartient ni aux liquides parfaitement isolants, tels que les huiles grasses, etc., ni aux liquides très-bons conducteurs, tels que le mercure et les métaux liquéfiés. L'énergie électromotrice d'un liquide ne dépend cependant pas uniquement de son pouvoir conducteur, mais en outre, à ce qu'il paraît, de plusieurs autres conditions non encore suffisamment connues.

7° Les effets électromoteurs de deux métaux, formant avec un liquide un circuit fermé, résultent du dégagement et de la recomposition continue des électricités contraires dans le liquide. Ces effets sont excités par la relation électromotrice des deux électromoteurs inégaux envers le liquide, ils sont favorisés par la relation électromotrice de l'électromoteur le plus fort envers le plus faible, et sont accélérés par le contact immédiat des deux électromoteurs, en tant qu'ils sont de bons conducteurs pour l'électricité.

8° Les changements chimiques dans la pile sont à la vérité liés à la recomposition, au moyen des corps solides qui la composent, des électricités mises en jeu; mais il n'existe pas, entre ces phénomènes, de dépendances de causes et d'effets.

9° Dans une réunion de piles élémentaires (pile de Volta), les électricités contraires se neutralisent com-

plétement par les corps solides de chaque élément, et il n'y a pas de transmission d'électricité d'un élément à l'autre

Je ne pousserai pas plus loin l'examen de la théorie de M Karsten, attendu que les détails dans lesquels je suis entré suffisent pour montrer que les bases sur lesquelles elle repose sont inadmissibles dans l'etat actuel de la science Je n'en ai parlé avec détails qu'en raison de l'importance que quelques personnes ont voulu lui donner, pour défendre la théorie de Volta

CHAPITRE II.

DES EFFETS DE CONTACT QUI PRODUISENT LA PASSIVITÉ DU FER ET DE QUELQUES AUTRES SUBSTANCES.

1332 DANS la première partie du Vᵉ volume (1026, etc.), j'ai fait connaître les propriétés anomales du fer plongé dans l'acide nitrique, en raison des rapports qui peuvent exister entre ces propriétés et les effets de contact, je dis *qui peuvent exister*, parce que nous ne connaissons pas encore au juste la cause d'où dépend le phénomène. Je vais continuer maintenant à exposer les observations faites depuis par M. Schœnbein, qui s'occupe d'une manière toute spéciale de cette classe de faits. Commençons par les effets qui concernent l'action que le fer combiné voltaïquement avec le peroxide de plomb ou d'argent, exerce sur le sulfate de cuivre.

On prend un fil de fer, dont l'une des extrémités est recouverte de peroxide de plomb ou d'argent, suivant le procédé électro-chimique. Représentons par *a* l'extrémité recouverte, et par *b* l'extrémité naturelle. Quand on plonge l'extrémité *a* dans une solution de sulfate de cuivre, il ne s'y précipite pas de cuivre, même sur les parties du fil qui ne sont pas recouvertes de peroxide et qui plongent dans le liquide, il ne se précipite pas également sur *b* quand on y plonge cette extrémité.

Voyons ce qui arrive quand *a* et *b* communiquent voltaïquement par l'intermédiaire du fil d'un multiplicateur. On plonge d'abord *a*, puis l'extrémité *b*; ce dernier devient passif à l'égard du sulfate de cuivre, mais il

s'établit un courant continu qui va du fer rendu passi à l'extrémité *a*, à travers le liquide, absolument comme si le bout rendu passif était attaqué.

Si l'on a un fil de fer, communiquant par l'une de ses extrémités avec le pôle positif d'une pile, et qu'on le plonge par l'autre dans une dissolution de sulfate de cuivre, en fermant le circuit ensuite, il ne se dépose aucune trace de cuivre sur le fer, tandis qu'il se dégage de l'oxigène, en interrompant le circuit, le cuivre se précipite Il résulte de là, suivant M. Schœnbein, que la passivité du fer est due à l'existence d'un courant voltaique Cela peut être dans ce cas-ci, mais non dans les cas ordinaires, où l'on est plutôt porté à croire que l'effet est du même ordre que celui que nous présente le zinc amalgamé, dont les propriétés vont nous occuper bientôt de nouveau.

Quand on fait communiquer ensemble deux vases remplis d'une dissolution de cuivre, au moyen de siphons remplis d'acide nitrique de 1,35, ou de mèches d'asbeste imbibées de la même solution, ou avec des fils d'or ou de platine, on observe les résultats suivants : si l'on plonge d'abord l'extrémité *a* dans l'un, puis l'extrémité *b* dans l'autre, cette dernière ne devient jamais passive, mais si la communication est établie avec du fer, du zinc, *a* devient inactif. Le cuivre se comporte comme le fer Pour interpréter ces différents effets, il faut tenir compte de la résistance qu'éprouve le courant à traverser le conducteur métallique qui unit les deux dissolutions. Si le conducteur est un métal non oxidable, le courant passe moins facilement que lorsqu'il est oxidable, et alors il ne doit pas tendre à rendre le passif *b*, comme dans le dernier cas. Cette observation s'applique au fait suivant :

Les deux vases étant réunis par le fil d'épreuve, si l'on plonge d'abord une des extrémités d'un fil de fer à l'état ordinaire, dans le vase où se trouve *b*, puis l'autre dans le second vase, la première devient active et la seconde passive.

1333. Voyons maintenant les observations qu'on a faites pour montrer qu'il y a des courants voltaïques produits indépendamment de toute action chimique.

On sait que l'acier combiné voltaïquement avec du platine peut rester plongé pendant des années dans une solution de potasse sans s'oxider. On sait aussi que du fer plongé dans de l'eau pure et privée d'air n'éprouve aucune espèce d'altération. Il en est de même à l'égard du zinc, de l'étain et du plomb.

Suivant M. Schoenbein, et d'après l'opinion de plusieurs physiciens, il faut voir dans la tendance de deux substances à se combiner chimiquement une cause de perturbation dans l'équilibre électrique de leurs particules. Ainsi, quand le fer et l'eau parfaitement pure sont mis en contact, l'effort du métal pour se combiner avec l'oxigène doit produire dans les circonstances favorables un courant semblable à celui qui a lieu dans l'oxidation. Les expériences suivantes, d'après lui, sont favorables à cette théorie. Ayant laissé pendant quelque temps un fil de fer dans de l'eau pure en ébullition, pour enlever tout l'air qui pouvait y adhérer, il le plongea ensuite dans de l'eau distillée qui avait bouilli, et le fit communiquer au moyen d'un fil de platine avec l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre, faisant ensuite communiquer un second fil de platine avec l'autre extrémité du fil et l'eau, on eut un courant qui allait du fer au second fil de platine à travers le liquide. La déviation fut de 40°. On pouvait craindre que le courant observé fût produit par l'oxidation des parties du fer qui se trouvaient sur la limite commune de l'air et de l'eau; pour éviter cette cause d'erreur, il fit plonger en entier ce métal dans l'eau et le résultat fut le même. En ajoutant de la potasse à l'eau, la conductibilité du liquide ainsi que la force du courant furent augmentées. Les expériences ont été faites également avec du zinc, du cadmium, du plomb, de l'étain, du mercure et de l'argent, métaux qui n'agissent pas sensiblement sur l'eau à la température ordinaire, et on a toujours obtenu les mêmes effets. M. Schœnbein s'est

adressé ensuite cette question Pourquoi le fer uni voltaïquement au platine ne s'oxide-t-il pas lorsqu'on le plonge dans une solution de potasse? Il a cherché ensuite à prouver que, contrairement à l'hypothèse de M Delarive, un courant se produit alors et va du fer au platine, à travers la dissolution de potasse. Puis il ajoute que c'est un fait bien connu, que des courants de très-faible intensité peuvent passer à travers des électrolytes sans les décomposer et sans oxider le fer, et qu'en admettant même qu'une petite portion de l'eau soit décomposée par l'effet du courant, il n'en résulte pas que l'oxigène devenu libre doive se combiner avec le fer positif, attendu que lorsque le fer remplit les fonctions d'électropositif, il peut rester chimiquement indifférent à l'égard de l'oxigène Telle est l'opinion de M Schœnbein sur la production de courants voltaïques, indépendamment de toute action chimique Je prendrai la liberté de lui faire remarquer que l'état de polarisation de deux lames de platine qui ont servi à faire passer le plus faible courant possible dans une solution saline, ne peut jamais s'effectuer sans un dépôt d'éléments sur les lames et par suite sans qu'il en résulte une décomposition électro-chimique; dès lors on ne peut admettre, comme il le dit, que *des courants* de très-faible intensité puissent passer à travers des électrolytes sans les décomposer Quant à son observation, que lors même qu'une petite portion d'eau serait décomposée, il n'en résulte pas que l'oxigène devenu libre se combine avec le fer, elle est extrêmement juste; mais il peut se faire aussi que cet oxigène réagisse sur l'eau et donne lieu à un courant secondaire, au surplus, dans tous les cas il y a action chimique.

CHAPITRE III.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUIT DANS LES ACTIONS CHIMIQUES ET DANS LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

§ Ier. *Des courants électriques produits dans l'action chimique des liquides les uns sur les autres.*

1334. M. Mousson, professeur à l'université de Zurich, frappé de l'influence qu'exercent sur les phénomènes électro-chimiques les courants électriques produits dans l'action chimique des liquides les uns sur les autres, a repris l'étude de ces courants, sur lesquels j'avais déjà donné de grands développements (1).

Voici les principes qui ont servi de point de départ à M. Mousson pour faire ses expériences (2).

1° Fixer d'une manière précise le moment où commence l'action chimique, afin qu'il ne reste aucun doute sur sa coïncidence avec le mouvement de l'aiguille.

2° Éviter le mélange irrégulier des liquides, d'où résulterait un affaiblissement du courant recueilli par le galvanomètre.

3° Multiplier le nombre de points des deux liquides qui au même instant réagissent les uns sur les autres, attendu que de ce nombre dépend la quantité d'électricité développée.

4° Diminuer enfin le plus possible l'étendue des li-

(1) Tom. II, p. 29, 30 et suiv.
(2) Bibl. univ. de Genève, t. XXI, p. 170.

quides que le courant doit parcourir avant d'atteindre les fils polaires, puisque l'obstacle qui en résulte se trouve être, suivant les expériences de M Fechner, directement proportionnel à la longueur du trajet, et inversement à la section des liquides

Voyons de quelle manière M Mousson a rempli ces quatre conditions, dont l'importance est incontestable, quand il s'agit de trouver un rapport entre l'énergie de l'action chimique et l'intensité du courant il a choisi pour électrodes deux disques circulaires de deux pouces de diamètre, de platine ou d'argent ; à chacun d'eux, et au centre de l'une des faces, est fixé un fil de platine destiné à être mis en rapport, au moyen d'une capsule remplie de mercure, avec un des bouts du fil du multiplicateur On applique sur ces disques d'autres disques de même diamètre, de papier non collé et humectés des liquides sur lesquels on veut expérimenter, puis l'on rapproche chaque disque parallèlement, et on les pose l'un sur l'autre avec pression La déviation de l'aiguille aimantée annonce aussitôt l'existence du courant

1335. L'expérience a prouvé qu'en se bornant à l'action initiale, et en interrompant immédiatement après la communication avec le multiplicateur, on n'avait pas à craindre l'action des liquides sur les disques opposés Ce moyen est, à la vérité, le seul qu'on puisse employer pour éviter la grande diminution qu'on observe dans l'intensité du courant, par suite de la prompte combinaison des substances en présence, et de la cristallisation qui en est la suite, laquelle arrête peu à peu la circulation de l'électricité

Mais on peut dire aussi que les disques de métal se couvrent promptement de substances provenant de la décomposition électro-chimique, lesquelles ne pouvant pas être enlevées aussi rapidement que lorsque ces disques plongent dans des liquides, polarisent instantanément ces mêmes disques, de manière à produire des courants en sens contraire, mais comme ce mode, par sa simplicité, présente des avantages, je vais rapporter les

résultats que M Mousson a obtenus avec un multiplicateur de 350 à 400 tours Dans les séries suivantes, la substance qui laisse dégager de l'électricité négative est placée la première :

Potasse, acide nitrique : l'aiguille pirouette plusieurs fois
Ammoniaque liquide, acide nitrique: l'aiguille pirouette.
Idem .... acide acétique : l'aiguille va à 40°.
Potasse, eau pure........... .. ..25 à 30
Ammoniaque, eau pure. 30
Potasse, sulfate de soude.. 100
Potasse, oxalate acide de potasse........... 95
Potasse, nitrate de potasse.......... 80

Je ferai remarquer que la potasse ne réagissant pas sur son nitrate, le courant produit est dû à la réaction de la potasse sur l'eau dans laquelle le nitrate est dissous ; il n'en est pas de même du courant produit dans le contact de la potasse avec le sulfate de soude.

Eau, acide nitrique : 90°.

Eau, acide sulfurique : de fréquentes anomalies. Dans le premier moment le courant est très-faible ; il change rapidement de direction, et l'aiguille est élancée dans le sens opposé, comme si l'eau jouait le rôle d'acide. Dans quelques cas, le courant direct est insensible, tandis que la déviation inverse va jusqu'à 80°.

Acide hydro-chlorique, eau : de nombreuses anomalies, comme pour l'acide sulfurique, il en est de même de cet acide avec des dissolutions salines

M Mousson n'a pas tenu compte, ici, des effets thermo-électriques résultant de l'échauffement des disques de métal pendant la combinaison de l'acide sulfurique ou de l'acide hydro-chlorique avec l'eau ou les corps sur lesquels ils réagissent, effets qui se font sentir plus facilement que dans les procédés dont j'ai fait usage, puisque les disques ne sont séparés des surfaces agissantes que de l'épaisseur d'une feuille de papier, tandis que dans les autres ils sont beaucoup plus éloignés de ces

mêmes surfaces. Je ferai remarquer en outre que le changement de direction du courant ayant lieu presque immédiatement après le commencement de l'action, on est porté aussi à admettre que la polarisation des disques est une des causes agissantes ; ainsi ce renversement dans le sens du courant serait donc un effet secondaire.

Continuons à rapporter les effets observés.

Sulfate de soude, acide nitrique	30°
Nitrate de potasse, acide nitrique	14

Les effets de l'acide nitrique ne présentent que très-peu d'anomalies.

Eau et acide acétique...	6°	
Eau et acide tartrique...... ..	7	
Acide oxalique, eau..........	4	courant contraire.
Nitre *idem*, eau.......	8	
Borate de soude, eau........	10	
Eau, alun...	7	
Eau, sulfate de soude........	10	
Eau, alcool.	3 à 4	
Eau, éther sulfurique......	2 à 3	

Nous voyons dans ces derniers résultats, comme on le savait déjà (1), que les sels, dans leur réaction sur l'eau, prennent l'électricité positive ou négative, selon qu'ils sont acides ou alcalins.

1336. Le procédé de M. Mousson est, à la vérité, très-simple, mais il présente plusieurs inconvénients qui ne permettent d'agir que pendant peu d'instants, si l'on veut éviter les effets secondaires. Ce n'est pas tout encore. les résultats rapportés ci-dessus ne sont pas comparables entre eux, attendu que, dans chaque expérience, la conductibilité du circuit change. Je m'occupe dans ce moment d'un travail pour lever cette difficulté.

---

(1) Tom. II, p. 31.

§ II. *Des courants électriques produits par le contact des métaux et des sels en fusion.*

1337 Lorsqu'on plonge dans un liquide conducteur alcalin ou acide deux fils de platine en relation avec un multiplicateur, et qui n'ont pas la même température, on a un courant qui va du fil chauffé à celui qui ne l'est pas, à travers le liquide, ou dans une direction contraire, toutes les fois que le métal n'est pas attaqué par le liquide; M. Th. Andrews (1) a cherché ce qui se passait quand on substituait au liquide un sel en fusion. Il a fait usage pour cela d'un multiplicateur très-sensible à long fil. Ayant fait fondre à l'une des extrémités libres d'un des fils de platine un fragment de borax, à la flamme d'une lampe à alcool, et ayant chauffé l'autre fil à une température plus élevée que le premier, il mit celui-ci en contact avec le globule fondu, l'aiguille fut aussitôt fortement déviée, et le courant fut dirigé comme ci-dessus du fil le plus chaud au fil le plus froid. Le courant était continu toutes les fois qu'on dirigeait la flamme de manière que l'un des deux fils fût plus échauffé que l'autre.

Le courant est capable de traverser une colonne d'eau aiguisée avec de l'acide sulfurique et longue d'un demi-pouce, ce qui prouve qu'il a une certaine intensité.

Le carbonate de soude fondu se comporte de même, seulement le courant est plus énergique.

Avec des électrodes d'une surface inégale, M. Andrews a obtenu des décompositions électro-chimiques, un morceau de papier simple, humecté d'une solution d'iodure de potassium introduite dans le circuit, a fourni de l'iode sur la lame positive. Au moyen de quatre appareils semblables au précédent, disposés de manière à former une pile, on est parvenu à décomposer l'eau acidulée. Avec vingt appareils, on a obtenu une sensation marquée sur la langue, mais jamais d'étincelle.

On a obtenu avec plusieurs appareils de semblables

---

(1) Bibl. univers., t. 2.

effets, avec le chlorure de potassium, le sulfate de soude, le chlorure de strontium, etc. Le platine qui sert à ces expériences conserve son brillant, ce qui prouve qu'il n'est nullement altéré.

1338. Les fils de palladium se comportent comme ceux de platine.

Lorsque le platine est opposé au palladium, à l'or ou à l'argent, le courant est toujours dirigé du platine à l'autre métal au travers du globule fondu, pourvu que le platine soit le métal le plus échauffé Si le palladium est le plus chaud, le courant est inverse. Ces expériences prouvent que les effets produits sont dus à la température relative des fils, puisque ces derniers ne paraissent pas attaqués.

1339 Quand on soumet à l'expérience le platine, le cuivre et un globule de carbonate de soude ou de borax, si le platine a une température plus élevée que le cuivre, le courant va de ce métal au cuivre au travers du sel. Le courant est inverse toutes les fois que l'action chimique est assez considérable pour qu'il se forme une grande quantité d'oxide de cuivre, dans ce cas, le courant électro-chimique l'emporte sur le courant thermo-électrique.

En substituant le fer au cuivre, l'action chimique devient vive, et le courant va du fer au platine, ce qui annonce un effet électro-chimique puissant.

Pour obtenir un courant inverse, il faut fondre un globule de borax sur un fil de fer, dans la partie désoxidante de la flamme, et mettre ce globule en contact avec le fil de platine, mais il est difficile de faire réussir l'expérience

En opposant le platine à l'antimoine, au zinc, au plomb et à l'étain, il est difficile de maintenir fondu le globule, même appartenant à un sel très-fusible, sans que le métal se fonde lui-même, mais quand le platine est rouge de feu, le courant va toujours du platine au métal oxidable, ce qui annonce encore une effet électro-chimique.

1340. Jusqu'ici il n'a été question que des courants thermo-électriques et électro-chimiques produits au moyen de deux métaux en fils ou en lames, dont deux bouts plongent dans un sel fondu; mais on peut obtenir également un courant avant la fusion du sel · dans ce cas, la direction du courant est difficile à interpréter, comme on va le voir.

On remplit, en partie, une petite cuiller de platine de carbonate de soude fondu, et l'on plonge dans le sel un gros fil de même métal, en évitant le contact métallique Aussitôt après le refroidissement, le fil et la cuiller sont mis en communication avec le multiplicateur. Si l'on chauffe ensuite légèrement la cuiller, au moyen de la flamme de la lampe à alcool, on a un courant qui va de la cuiller au fil, c'est-à-dire, du métal chaud au métal froid, En continuant à chauffer le fond de la cuiller, jusqu'à ce que le sel en contact avec elle commence à fondre, tandis que la partie qui entoure le fil est encore solide, on obtient alors un fort courant qui va cette fois du fil à la cuiller, c'est à-dire, du métal froid au métal chauffé. Quand la cuiller est assez chauffée pour que tout le sel soit fondu, le courant est de nouveau renversé, c'est-à-dire qu'il va du métal chaud au métal froid Il suffit du plus léger mouvement de la flamme pour voir l'aiguille s'élancer d'une extrémité de zéro à 90°.

1341 Avec le verre on obtient des changements analogues dans la direction des courants Ainsi, quand un fil de platine, recouvert d'une faible couche de verre, est mis en contact avec un autre fil plus fortement chauffé, le courant va du métal le plus chaud au métal moins chaud à travers le verre Avec une couche de verre plus épaisse on obtient d'abord un courant qui va du fil chaud au fil froid, mais le courant change de direction quand on élève de nouveau la température J'ai obtenu des effets électriques de tension dans des cas semblables (1), mais

(1) Tom. II, p. 35

non des effets inverses Comme il est difficile d'expliquer ces derniers résultats, je dois me borner à les signaler à l'attention des physiciens.

§ III. *Développements relatifs aux phénomènes thermo-électriques.*

1342. M Matteucci a publié dernièrement (1), sur les phénomènes thermo-électriques, quelques observations dont plusieurs sont connues depuis longtemps; certes on ne peut qu'applaudir au désir bien louable qu'éprouvent quelques personnes de reculer les limites de la science; mais il faut avant tout ne pas tant appuyer sur des faits qui lui sont acquis Sans entrer dans aucune discussion à cet égard, je renvoie le lecteur au tome II, page 39 et suivantes de mon ouvrage

Je passe donc sous silence la première partie du travail de M Matteucci, pour en venir à la seconde qui traite des phénomènes observés par M. Sturgeon, dans des cadres, des anneaux, ou des masses solides régulières de bismuth et d'antimoine On sait que si l'on chauffe divers points de ces corps avec une lampe (2), on en trouve qui produisent des courants électriques et d'autres qui n'en donnent pas Ces derniers, qu'on appelle *points neutres*, correspondent particulièrement aux endroits par lesquels le métal fondu a été introduit dans le moule; ils jouissent de cette propriété, qu'en chauffant à droite ou à gauche, on a un courant qui va dans un sens ou dans un autre.

On a vu (3) que M. Sturgeon attribue la présence de ces points neutres à quelques modifications particulières produites pendant le coulage des barreaux dans l'ar-

---

(1) Bibl. univ, tom XVIII, p 353
(2) Tom II, pag. 42 et suiv
(3) Ibidem.

rangement des molécules; que, dans tous les circuits, le point où la matière est versée dans le moule est un point inactif quand on élève sa température, et que l'intensité de chaque courant varie en raison du point chauffé, et dépend en grande partie de la structure du barreau.

M. Matteucci, pour répéter ces expériences, s'est servi d'un appareil à peu près semblable à celui de M. Sturgeon, ainsi je crois inutile de le décrire ici

Soit ABCD (fig. 2) un cadre de bismuth coulé dans un moule par le milieu N du côté AD, le point N est le point neutre; c'est-à-dire qu'on n'obtient un courant qu'autant qu'on chauffe avec une lampe en *n* ou *n'*; dans les deux cas, les courants vont en sens contraire. Avec un cadre d'antimoine, les effets sont encore les mêmes, mais avec cette différence, d'après M. Matteucci, qu'avec le bismuth, si l'on chauffe en *n*, le courant suit la direction ABCD, tandis qu'il suit une direction opposée dans l'antimoine. J'avoue que je ne conçois pas l'opportunité de cette distinction, car il doit se trouver des cadres en bismuth dans lesquels en chauffant en *n*, le courant chemine en ABCD, comme dans l'antimoine, toujours avec la condition qu'en chauffant en *n'* on a un courant en sens inverse. Le sens du courant, quand on chauffe en *n* (qui est un point quelconque), peut être le même ou différent dans le bismuth ou l'antimoine, parce qu'il dépend de circonstances particulières à la cristallisation, et non parce qu'il est placé en haut. J'ajouterai cependant que M. Matteucci a fait quelques observations qui, bien qu'en rapport avec les faits découverts par MM. Seebeck et Sturgeon, méritent d'être signalées ici. Si l'on fait fondre et refroidir lentement dans le moule le cadre de bismuth ou d'antimoine, les points neutres disparaissent et se montrent dans tous les endroits où il s'est fait des champignons, c'est-à-dire, dans les points où la matière liquide intérieure a soulevé la croûte.

On peut encore produire des points neutres en refroidissant rapidement une très-petite portion d'un des cadres.

CHAPITRE IV.

DES EFFETS ÉLECTRIQUES PRODUITS DANS LES ACTIONS MÉCANIQUES.

§ I^er. *Des courants électriques produits dans le dérangement des particules des métaux.*

1343 Quoique j'aie traité la question du dégagement de l'électricité par frottement avec de grands détails dans le second volume (pag. 113 et suiv.), je dois cependant rapporter ici des résultats qui n'ont pu y être insérés à l'époque où il parut, soit parce qu'ils n'étaient pas encore connus, soit parce qu'ils n'avaient pas encore été assez étudiés.

M. Peltier a montré que le plus léger changement dans la position d'équilibre des particules d'un circuit métallique fermé suffit pour produire un courant, et par conséquent pour troubler l'équilibre des forces électriques. Pour le prouver, on prend un fil de cuivre non recuit, mis en rapport avec un multiplicateur à fil court. On forme ensuite avec ce fil un grand cercle, soutenu de distance en distance par des supports, puis on le place alternativement dans le méridien magnétique, dans un plan perpendiculaire ou dans une position intermédiaire, afin de faire la part de l'action inductive du globe. L'équilibre de température étant établi, on soulève ou l'on abaisse une partie du fil; il se forme alors des flexions qui ne peuvent avoir lieu sans un déplacement de particules et par suite sans qu'il y ait un courant électrique.

Il arrive quelquefois qu'il n'y a aucun effet produit; cela a lieu probablement quand il se développe deux courants égaux et dirigés en sens contraire de chaque côté du point ébranlé. Lorsque cette circonstance se présente, il faut écrouir quelques portions d'un côté de l'arc au moyen de la percussion ou de la torsion, ou bien les faire recuire. Cette cause d'inégalité suffit pour faire naître le courant par la simple flexion du fil.

Ces courants ne peuvent être attribués à l'induction terrestre, attendu qu'ils se manifestent, quelle que soit la position du circuit par rapport au méridien magnétique. Quant au sens du courant, il tient à des différences dans l'état moléculaire dont il est impossible de se rendre compte.

Pour montrer combien peu il faut déranger l'état moléculaire des corps pour troubler l'équilibre des forces électriques; je citerai les faits suivants : on obtient un courant variable de direction en frottant le fil entre les doigts ou avec du drap; on le provoque encore en le tirant à la filière, quand les deux bouts, bien entendu, sont en communication avec un multiplicateur.

Pour concevoir tous ces phénomènes, il suffit de se rappeler les effets électriques de clivage, qui montrent que lorsqu'on détruit la force d'aggrégation, chacune des parties séparées possède un excès d'électricité contraire, dont la nature doit dépendre de l'espèce de polarité que possède la face de la particule en contact avec la face de l'autre, en admettant, bien entendu, que toutes les faces d'une même particule ne jouissent pas des mêmes propriétés électriques; cette supposition est très-admissible, car si l'on ne l'admettait pas, on ne voit pas comment on pourrait expliquer l'attraction moléculaire qui s'exerce entre des particules dont toutes les faces seraient douées des mêmes facultés. Cela posé, lorsqu'on déplace momentanément par le frottement, ou tel autre mode d'action mécanique que l'on voudra, les particules d'un fil ou d'une lame de métal, on opère en quelque sorte un clivage momentané qui doit rendre libre une

portion des deux électricités tenues en équilibre entre deux parties contigues, et si une portion de ces deux électricités, par des causes que nous ne pouvons apprécier, trouve plus de facilité à suivre le circuit du multiplicateur qu'à réagir au contact pour reformer du fluide neutre, il y a alors production de courants électriques.

Dans les recherches relatives à la production des courants électriques par des actions mécaniques, il faut se mettre constamment en garde contre l'induction magnétique terrestre. Nous citerons particulièrement celles qui sont relatives au frottement de deux lames métalliques l'une sur l'autre.

§ II. *De l'électricité dégagée dans le frottement des corps mauvais conducteurs.*

1344. Dans les expériences sur le frottement, nous n'avons jamais eu égard qu'au frottement, sans faire attention à la pression sous laquelle les corps se trouvent pendant cette action, ainsi qu'à la vitesse je vais rapporter les recherches qui ont été faites par M. Péclet pour connaître l'influence exercée par chacune de ces causes sur le dégagement de l'électricité.

Ce physicien a disposé une machine électrique avec laquelle il pouvait avoir égard au temps, à la vitesse et à la pression. L'appareil était tellement disposé que toutes ces conditions étaient constantes.

Cet appareil est composé, 1° d'un cylindre de verre traversé par un axe en fer ; 2° d'un frottoir en bois ayant la courbure du cylindre et sur lequel on peut établir différentes lames flexibles; 3° de deux tiges métalliques placées à la partie supérieure du frottoir, et destinées à recevoir des poids, 4° d'un peigne métallique placé sur un support isolant et communiquant avec un électromètre à paille, terminé par deux boules de sureau, dont l'écartement est mesuré au moyen d'un cadran placé convenablement.

En employant pour frottoir le papier nu, ou couvert de cuivre, d'étain, d'argent ou d'or, de soie, de coton, etc., la tension va en augmentant pendant un certain temps qui est très-court, après quoi elle reste constante.

La manivelle, dans les expériences dont les résultats suivent, faisait une révolution en 8, 4, 2 secondes, et la vitesse était la même pendant un certain temps.

Avec les frottoirs ci-dessus indiqués, et des cylindres de verre, de résine ou de taffetas ciré, la tension est indépendante de la vitesse, excepté avec des corps garnis de longs filaments.

Si l'on décharge le cylindre avec une frange métallique placée du côté opposé au peigne, la tension diminue avec la vitesse, et d'autant plus que le frottoir est plus mauvais conducteur; la quantité d'électricité paraît donc proportionnelle à la vitesse quand on emploie la frange. Relativement à l'influence de la pression, le mouvement de rotation étant uniforme, on a mis le frottoir sous la pression de un à deux kilogr.; puis on a soumis successivement à l'expérience des cylindres en verre, en résine ou en bois, enveloppés de taffetas ciré ou de satin; les frottoirs étaient les mêmes que précédemment. Dans ces différents cas, la déviation des deux pailles est restée constante pour chaque corps, quelle que fût la pression, que le cylindre fût déchargé ou non.

M. Péclet explique ainsi ce dernier résultat : Le contact réel n'existe que sur une partie de l'étendue du contact apparent; ce sont effectivement les points en contact qui supportent la pression, qui frottent et qui produisent de l'électricité. Le nombre et l'étendue de ces points doit augmenter avec la pression, mais dans un rapport avec la charge, qu'il est bien difficile d'apprécier Il pense donc qu'au delà d'une certaine pression, le nombre des points de contact n'augmentant pas, l'influence de la pression doit cesser. La conséquence qui paraît résulter de ces faits, c'est que la pression et la vitesse sont

sans influence sur les effets produits, et que la quantité d'électricité est proportionnelle à la vitesse, quelle que soit la pression.

1345 M. Péclet, dans l'explication qu'il a donnée des faits observés, a fait abstraction de l'électricité qui se recombine à la source même où elle se dégage, quand on ne met aucun obstacle à cette recomposition. C'est faute d'avoir négligé cette condition que plusieurs physiciens ont été induits en erreur dans les explications qu'ils ont données des phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité.

On peut, je crois, adopter les deux principes suivants pour interpréter les effets produits : 1° lorsque la décomposition des deux électricités dans le frottement s'effectue plus rapidement que la recomposition, la tension électrique augmente; 2° si la recomposition se fait dans un temps appréciable, plus on tournera vite, plus la tension maximum augmentera. J'ajouterai qu'il arrive un certain point, quand on tourne rapidement, où la tension de l'électricité dégagée est telle, qu'une portion des deux électricités se recombine malgré la mauvaise conductibilité des corps frottés. On conçoit, d'après cela, comment il se fait que l'on arrive à une tension maximum que l'on ne saurait dépasser, attendu que les deux électricités se recombinent toujours en partie au contact, le frottement n'étant jamais tellement instantané que la séparation des deux corps puisse s'effectuer dans un temps infiniment petit. Voilà comment il faut concevoir que le dégagement de l'électricité est indépendant de la pression et de la vitesse du frottement On voit donc que le dégagement de l'électricité, dans les circonstances où M. Péclet l'a envisagé, est une des questions les plus complexes de la science électrique, attendu que l'on n'a aucun moyen de pouvoir apprécier les quantités d'électricité dégagée qui se recombinent au contact pour reformer du fluide neutre. De cette quantité plus ou moins considérable des deux électricités qui se recombinent au contact, dépendent tous les effets qui ont été observés par M. Péclet.

§ III. *Du dégagement de l'électricité par frottement dans l'air raréfié et dans le vide.*

1346. La question du dégagement de l'électricité dans l'air raréfié et dans le vide occupe les physiciens depuis longtemps; comme on l'a reprise dans ces derniers temps, et que les résultats auxquels on est parvenu sont les mêmes, à quelques différences près, que ceux qu'on avait obtenus anciennement, j'ai pensé que l'on verrait avec intérêt le précis de tout ce qui a été fait à cet égard.

Hauksbée est un des premiers qui se sont occupés de ce genre de recherches; puis Gray a publié, en 1732, un travail sur le même sujet dans les Transactions philosophiques Ce dernier a observé que des corps électrisés placés dans le vide de la machine pneumatique attirent presque à la même distance que dans l'air, les corps légers qu'on leur présente L'expérience fut faite avec une boule de verre creuse, de deux pouces et demi de diamètre, laquelle ayant été frottée fut suspendue dans un récipient vide d'air au moyen d'un fil de soie passant dans la boîte à cuir de ce récipient. Cette boule attirait des feuilles de clinquant placées sur la platine de la machine pneumatique, à la même distance, que le récipient fût vide ou plein d'air. Le soufre, la gomme laque, la résine et la cire blanche présentèrent les mêmes effets.

Dufay, qui s'est occupé du même sujet, a fait usage également d'un récipient ouvert par en haut et muni d'une boîte à cuir. Une tige de métal traversait la boîte et entrait dans le récipient. Cette tige portait à son extrémité inférieure une vis à laquelle était adaptée une boule de succin, de verre ou de toute autre substance. L'extrémité supérieure de la tige était garnie d'une petite poulie que l'on mettait en mouvement au moyen d'un archet. Dans l'intérieur du récipient se trouvait une pince garnie d'étoffe ou de toute autre substance, qui embrassait et serrait le corps soumis au frottement. Des fils suspendus

dans le récipient indiquaient, en se portant vers ces corps, si ces derniers étaient électrisés ou non électrisés.

Dufay trouva que dans le vide fait à trois lignes, les corps cités plus haut jouissaient de la propriété d'attirer comme dans l'air, après avoir été frottés.

Boyle confirma ce fait.

1347. On peut objecter à ces résultats que les corps soumis à l'expérience, étant mauvais conducteurs, retenaient l'électricité que le frottement leur avait donnée, indépendamment de la pression de l'air atmosphérique. Telle est, au surplus, la manière dont on a envisagé jusqu'ici ce phénomène; mais nous verrons plus loin que l'objection n'est pas fondée, et que le phénomène doit être considéré sous un point de vue plus général.

Dufay ayant soumis à l'expérience une boule solide de cristal de roche, en prenant pour frottoir une feuille de papier, trouva que les effets n'étaient pas aussi sensibles dans le vide que dans l'air, mais que sa vertu se rétablissait lorsqu'on faisait rentrer l'air. Ce physicien a cru devoir conclure de ce résultat, et d'autres que je ne rapporte pas ici, que les corps qui donnent de l'électricité résineuse, tels que le succin, la gomme copal, etc., l'acquièrent dans toutes sortes de milieux, tandis que les corps vitreux ne prennent que peu d'électricité dans le vide, quoiqu'ils la conservent dans ce vide lorsqu'ils l'ont acquise dans l'air. Je ferai remarquer qu'il peut très-bien se faire que la vapeur d'eau qui s'attache plus facilement aux substances vitreuses qu'aux substances résineuses, quand elle se précipite en faisant le vide, soit la cause de la différence des effets observés.

1348. Passons maintenant aux expériences qui ont été faites postérieurement, ainsi que dans ces derniers temps, sur le dégagement de l'électricité dans le vide.

Lavoisier avait disposé un appareil pour traiter à fond la question du dégagement d'électricité dans le vide, mais une mort prématurée, que les sciences déploreront à jamais, ne lui a pas permis d'en faire usage. Cet appa-

reil, qui se trouve aujourd'hui dans les collections de l'Académie des sciences, se compose d'une grande cage en verre, d'un seul morceau, sous laquelle se trouve une machine électrique ordinaire, munie de tous ses accessoires. Le plateau est dans une position horizontale, ainsi que les coussins. L'axe, qui est vertical, passe dans une boîte à cuir et est terminé à son extrémité supérieure par une manivelle destinée à le mettre en mouvement. A la partie supérieure de la cage, et attenant à l'axe, se trouve une grande virole en cuivre, communiquant avec les coussins de la machine électrique; quand on tourne la manivelle, on touche la virole pour donner écoulement à l'électricité négative. Deux ouvertures sont pratiquées à cette cage; à l'une est fixé, au moyen d'une virole en cuivre, un tube de verre recourbé de plus de trente pouces, qui plonge dans un bain de mercure; à l'autre est adapté un bouchon de liége, dans lequel passe une tige de métal en communication avec le conducteur de la machine électrique. Enfin, la cage est placée sur une platine qui, au moyen de tubes de communication, peut être mise en rapport avec une machine pneumatique et des récipients qui renferment différents gaz.

On commence par faire fonctionner la machine dans l'air, en tournant avec la même vitesse, et l'on juge de la tension de l'électricité dégagée au moyen d'un électromètre placé à peu de distance de la tige de communication. On fait ensuite le vide et l'on voit quelle est la tension. Je me borne ici à donner la description de cet appareil, qui peut servir à faire un grand nombre de recherches.

1349. J'arrive maintenant aux expériences qui ont été faites dans ces derniers temps sur le dégagement de l'électricité et sur sa conservation dans le vide. Cette question, je le répète, quoique d'un grand intérêt, a peu attiré jusqu'ici l'attention des physiciens. L'idée que l'on s'est faite de la manière dont l'électricité est retenue à la surface des corps, a détourné les esprits de ce genre de re-

cherches La théorie admise jusqu'ici suppose qu'il existe deux fluides impondérables, éminemment élastiques, dont les molécules de chacun d'eux jouissent de la propriété de se repousser en raison inverse du carré de la distance, et d'attirer celles de l'autre, suivant la même loi. Cette même théorie, par suite des résultats de l'analyse, admet que l'électricité n'est retenue à la surface des corps que par la résistance que l'air lui oppose pour l'empêcher de se dissiper On conçoit qu'avec une semblable théorie, qui paraît reposer sur des bases inébranlables, on devait faire peu d'attention à des faits qui étaient en opposition avec les résultats de l'analyse mathématique. Ces faits pouvaient tenir, disait-on, à des causes inaperçues qui ne pouvaient infirmer en rien les lois obtenues Passons maintenant aux expériences. Wollaston, comme nous l'avons déjà vu (1), après lui plusieurs physiciens, et en particulier M Péclet, ont cherché s'il était possible de faire fonctionner la machine électrique ordinaire, munie de coussins enduits d'amalgame ou d'or massif, dans le vide, dans l'air ou dans différents gaz. Wollaston essaya de prouver que le dégagement de l'électricité, en général, est dû à une oxidation. Il établit à cet effet un petit cylindre, avec ses coussins enduits d'un amalgame très-oxidable de zinc ou d'étain, et ses conducteurs, dans un récipient tellement disposé, qu'il pouvait enlever à volonté l'air qu'il renfermait et le remplacer par un autre ou par un gaz. Après avoir essayé le degré d'énergie de l'appareil dans l'air, il substitua à ce dernier du gaz acide carbonique, et trouva que tout développement d'électricité était suspendu Les signes d'électricité reparaissaient aussitôt que l'on introduisait de l'air dans le vase Il trouva encore qu'en enduisant les coussins avec un amalgame d'argent ou de platine, qui n'est pas susceptible de s'oxider, on ne pouvait jamais obtenir d'électricité. De là il conclut que le dégagement de l'électricité est

(1) Tome II, pag. 76.

réellement dû à une oxidation. M. Gay-Lussac, qui a répété ces expériences, a trouvé que le dégagement d'électricité a également lieu avec des amalgames très-oxidables dans une atmosphère de gaz acide carbonique, pourvu que ce gaz soit privé de la plus grande partie de son eau hygrométrique.

1350. M. Péclet s'est attaché aussi à déterminer l'influence de l'action chimique de l'air sur les amalgames; il a commencé par chercher le pouvoir conducteur de l'air et des gaz, dans la supposition où ce pouvoir conducteur pouvait agir sur les effets observés. Il a fait construire à cet effet deux balances de Coulomb, parfaitement semblables. Chacune d'elles est percée d'un orifice dans lequel passe un petit tube de verre mastiqué sur les parois et renfermant une tige de cuivre, terminée par des boules égales de métal. Cette tige est destinée à transmettre de l'électricité au disque de clinquant. L'intérieur du vase communique au dehors au moyen de deux tubes, dont l'un s'élève jusqu'au sommet et l'autre seulement jusqu'à une petite distance du fond. Ces tubes sont destinés à enlever les gaz de l'intérieur des vases et à en mettre d'autres à leur place. Le tube destiné à l'introduction des gaz communique avec un large tube extérieur rempli de chlorure de calcium. Un de ces appareils communique avec une soufflerie, l'autre avec un appareil destiné à produire de l'acide carbonique. Après avoir donné aux deux boules de métal la même quantité d'électricité, afin que les deux balances soient chargées au même degré, on fait passer dans une des balances un courant d'air sec, et dans l'autre un courant de gaz acide carbonique également sec. M. Péclet, en opérant avec ces deux appareils, a trouvé que les déviations dans la balance pleine d'air et les déviations dans la balance remplie d'acide carbonique après le même temps, comptées à partir de l'origine de la répulsion, étaient absolument les mêmes. Il en a conclu dès lors que les facultés conductrices de l'air et de l'acide carbonique, pour les effets qu'il avait en vue, c'est-à-dire, pour les actions ré-

pulsives de l'électricité, étaient les mêmes. Il a admis alors que s'il existait une différence entre les quantités d'électricité dégagée par frottement dans ces deux gaz, cette différence ne pouvait provenir que d'une action directe de chacun d'eux dans la production de l'électricité, et nullement de leurs pouvoirs conducteurs.

Pour faire les expériences de frottement dans différents gaz, M. Péclet s'est servi d'une cloche, traversée par une tige en fer passant dans une boîte à cuir et portant un cylindre de verre. La tige est mise en mouvement au moyen d'un système de deux roues muni d'une manivelle. Sous la cloche se trouve un coussinet fixe enduit d'or mussif, et du côté opposé un peigne métallique communiquant à un fil de cuivre qui sort de la cloche, et se prolonge jusqu'à un électroscope placé dans une cloche dont l'air est desséché avec du chlorure de calcium La cloche est munie de deux tubes de verre, l'un destiné à amener le gaz desséché, l'autre à le faire sortir. Il a opéré successivement avec l'air et le gaz acide carbonique parfaitement desséché, il faisait passer le gaz dans le vase pendant un temps assez long pour que l'intérieur ne renfermât plus que $\frac{1}{15}$ d'air. En tournant la manivelle avec des vitesses sensiblement les mêmes, il a obtenu dans les deux cas les mêmes résultats.

En opérant avec de l'hydrogène parfaitement pur, les effets ont encore été semblables; il en a conclu dès lors, contrairement à ce que Wollaston avait annoncé, et conformément à ce que M. Gay-Lussac avait observé, que, dans la production de l'électricité par frottement, l'action de l'air sur les enduits, plus ou moins oxidables des frottoirs, ne paraît exercer aucune influence sur les effets électriques qui en résultent.

Cette conclusion qui nous paraît rigoureuse pouvait être tirée immédiatement des expériences de Gray, qui a démontré que le frottement dégageait de l'électricité dans le vide comme dans l'air.

Harris a fait une expérience, dont il sera question plus loin, et qui confirme les observations de Hauskbée et de Gray à ce sujet.

L'expérience suivante que j'ai faite, dans le but d'étudier cette question, confirme aussi les résultats ci-dessus :

Sur une platine portative pouvant s'adapter à une machine pneumatique, on fixe un petit électroscope à feuilles d'or (fig. 3), dont la tige métallique est fixée, à sa partie supérieure, à une feuille de métal très-mince, sur laquelle est assujettie une lame de verre également très-mince. Ce petit appareil est recouvert d'une cloche ayant à sa partie supérieure une tubulure munie d'une boîte à cuir, dans laquelle passe une tige verticale en laiton, à l'extrémité inférieure de laquelle est placé un petit tampon de peau, recouvert d'or massif ou de différents enduits excitants. En abaissant la tige suffisamment, on met en contact le tampon avec le verre, et l'on peut alors exercer le frottement. En retirant la tige, la lame métallique se trouve électrisée négativement, la lame de verre avec cette lame forme un petit tableau magique; les deux feuilles d'or divergent en vertu de l'électricité devenue libre. En faisant le vide à un millimètre, on trouve constamment de l'électricité qui, loin de se dissiper, en raison de l'extrême raréfaction de l'air, reste pendant un temps assez considérable, quand les vapeurs aqueuses de l'intérieur de la cloche ont été enlevées avec du chlorure de calcium. Dans une expérience, j'ai trouvé encore de l'électricité libre au bout de deux jours. Doit-on admettre que la très-petite quantité d'air contenue dans le vase est capable, par la résistance qu'elle oppose, de retenir l'électricité sur la surface des feuilles d'or, ou bien que le vide peut servir à isoler parfaitement des quantités d'électricité qui ne dépassent pas une certaine limite? C'est ce que nous examinerons plus loin.

CHAPITRE V.

DESCRIPTION D'APPAREILS DESTINÉS À MESURER LES PHÉNOMÈNES D'ATTRACTION ET DE RÉPULSION ÉLECTRIQUES.

1351. M. Harris a imaginé divers appareils qui lui ont servi à déterminer les lois de phénomènes électriques non encore étudiés, et dont je vais donner la description. Le premier de ces appareils est un électroscope A (fig. 4), composé des parties suivantes : un petit anneau elliptique de métal *a* est attaché obliquement à une tige de cuivre *ab*, isolée et traversant une boule de bois *n*. Deux autres petites tiges de cuivre *r r* sont fixées verticalement aux extrémités du grand diamètre de l'anneau. Dans la direction du plus petit diamètre, au milieu de l'anneau, se trouve un axe suspendu délicatement sur des pointes extrêmement fines. A cet axe sont adaptés deux brins de paille terminés par de petites balles de moelle de sureau. Ces deux petites pailles, qui servent d'index, jouissent d'une grande mobilité. Un cercle divisé en *r r* indique les déviations. Cet appareil est isolé sur une grande tige de verre A. Toutes les fois que l'on communique à la balle *b* une charge électrique, les pailles s'écartent. Cet instrument, au besoin, peut être placé dans une position verticale, horizontale ou autre, au moyen d'un genou placé en *m*.

1352. B (fig. 5) représente un électromètre qui mesure directement la force attractive d'un corps électrisé sur un corps quelconque, estimée en poids d'après les degrés indiqués sur l'arc gradué *yx* : un conducteur isolé

f est fixé sur un tube de verre verni *fg*, lequel peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'une vis de micromètre *s*. Un conducteur mobile et semblable *m* en bois léger, creusé et doré, est suspendu au-dessus du conducteur *f*, par l'intermédiaire d'un fil d'argent très-fin qui passe dans une petite roue de cuivre *w*. Le conducteur *m* a pour contre-poids un petit cylindre de bois *pn* (fig. 5 et 6) qui plonge dans l'eau.

Les extrémités de l'axe de la roue tournent sur des pivots très-fins et reposent sur deux grandes roues mobiles, comme on le voit figure 7, ce qui leur donne une grande liberté de mouvement. Un index *wc* indique sur l'arc gradué *y x* la force développée entre les conducteurs *m*, *f*. Le poids de cet index est connu. Le centre de la roue *e* est le même que celui de l'arc *x y*. Les diverses roues, ainsi que l'arc gradué, sont soutenus par une plaque métallique avancée qui est fixée à une tige métallique passant à travers une colonne de verre B, la figure 5 indique les divers accessoires de cet appareil et la manière dont ils sont disposés.

Le poids du conducteur *m* fait bien équilibre au contre-poids *n*, mais le système peut être mis en mouvement au moyen d'une force excessivement faible. On peut donc approcher ou éloigner à volonté *m* de *f*. Le mouvement est promptement arrêté au moyen du contre-poids *n* qui plonge dans l'eau; la force peut être évaluée en degrés ou en poids: en effet, si un poids quelconque avance l'index de 5° dans une direction, le double du poids l'avancera de 10°, et ainsi de suite.

1353. Quand on veut se servir de cet appareil, on communique au conducteur *f* une charge d'électricité, puis le conducteur *m* est mis en communication avec la terre, ou bien avec la partie négative de la bouteille ou de la batterie qui a servi à donner une charge à *f*.

Si l'on veut observer les effets de la force répulsive, on met en communication le conducteur *f* avec une source d'électricité quelconque, puis on fait descendre *m* jusqu'à ce qu'il touche *f*.

La distance entre les conducteurs *m*, *f* correspond à une force donnée. On la trouve au moyen des degrés indiqués sur l'arc *a*, *j*. Chaque degré correspond, dans l'appareil de M. Harris, à une variation de distance entre les conducteurs égale à $\frac{1}{10}$ de pouce. D'après cela, si, en commençant les expériences, on a mis en contact *m* et *f*, l'index étant à zéro, et que l'on abaisse le conducteur *f* à une distance donnée, que l'on peut déterminer au moyen de la vis du micromètre *s*, rien n'est plus simple ensuite que de déterminer les autres distances en *f* et *m*.

Je ne dois pas oublier de dire que le contre-poids *n* est muni d'une petite coupe hémisphérique *p*, destinée à recevoir les poids nécessaires pour les expériences.

Les conducteurs *m*, *f* sont des plans circulaires d'environ 2 pouces de diamètre, soutenus par de petits cônes. On emploie, au besoin, pour conducteurs des sphères et des cylindres.

Avec cet appareil, lorsque les isolements sont parfaits et que l'atmosphère est bien sèche, l'index donne immédiatement la résultante des forces attractives.

1354. Pour rapporter les charges à une unité de mesure, on part de ce principe, que, dans une bouteille de Leyde, la quantité accumulée sur une surface est proportionnelle à la quantité cédée par l'autre dans la charge. D'après cela, au lieu de transmettre immédiatement l'électricité dégagée de la machine au moyen de son conducteur, on peut communiquer la charge de la surface extérieure d'une petite bouteille de Leyde, et évaluer très-exactement la quantité accumulée par le nombre d'explosions. En effet

Supposons que l'on renverse une petite bouteille de Leyde K (fig. 8), de manière à mettre l'armure intérieure en communication avec le conducteur d'une machine électrique, et l'armure extérieure, par l'intermédiaire de la balle *b*, également en communication avec la batterie à charger. Supposons encore qu'on ait placé deux petites balles *n* et *n'* en relation avec les deux mêmes armures à une distance telle, qu'il y ait une décharge à un

certain instant. Il est bien évident que chaque décharge indiquera une accumulation d'une même quantité d'électricité dans la batterie; attendu qu'elle ne peut avoir lieu, chaque fois, la distance *n n'* étant constante, que lorsque la tension de l'électricité est arrivée au même point.

On peut, si on le veut, transporter à de simples conducteurs, des quantités comparatives d'électricité en tirant des étincelles d'une bouteille isolée D (figure 9), chargée, comme il vient d'être dit. Les charges peuvent être prises immédiatement sur le conducteur ou sur une plaque de transport isolée (fig. 10), dont la surface est connue, et transmises ensuite au conducteur *a* (fig. 5). M. Harris a fait avec ces appareils un certain nombre d'expériences dont voici les principaux résultats :

1355 Une quantité donnée d'électricité, partagée entre deux conducteurs parfaitement égaux, ne développe sur des corps étrangers que le quart de la force attractive qui se distribue dans l'un d'eux.

Lorsque cette quantité est partagée entre trois conducteurs semblables, la force dans l'un d'eux n'est que la neuvième partie de celle que l'on trouve distribuée dans un seul, c'est-à-dire que la quantité étant constante, la force est en raison inverse du carré de la surface; ou, la surface étant constante, en raison directe de la quantité. Voici comment M. Harris a mis ces lois en évidence :

On prend trois conducteurs semblables et égaux *a*, *b*, *c* (fig. 11), de forme cylindrique et bien isolés, on communique à l'un d'eux une quantité donnée d'électricité, et l'on mesure la force attractive au moyen de l'électromètre (fig. 5). Cela fait, on enlève l'électricité à ce cylindre et on lui en communique une égale quantité, après quoi on lui en fait toucher un autre pour diviser la charge; on trouve que la force attractive ne s'élève qu'au quart de la force primitive, et ainsi de suite.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES

Quantité comparative	Force en degrés	Distance des surfaces d'attraction	Force à la distance d'un pouce	Force calculée
1	30°	1	30 » —	29,70
1/2	6 —	1,25	7 8 —	7,41
1/3	2 +	1,28	3 27 +	3,72
1/4	1 +	1,20	1 6 +	1,86

Les différences entre les résultats de l'expérience et les résultats donnés par le calcul sont dans la limite des erreurs que l'on peut commettre dans des expériences de cette nature. Les mêmes lois ont été vérifiées avec une balance particulière N (fig 12) dont voici la description : Cette balance est suspendue à un levier de cuivre recourbé *n b*, qu'on peut élever ou abaisser, au moyen d'une vis de micromètre *h*, ou du tube gradué *n o* qui glisse à l'intérieur. Un corps conducteur *m* est suspendu par un double fil d'argent à l'une des extrémités de ce fil. Ce corps, qui est en bois creux et doré, a pour contre-poids des poids placés dans le plateau de balance *t*. La figure indique les autres accessoires de l'appareil, dont plusieurs sont semblables à ceux de l'appareil fig 5.

Lorsque le conducteur *m'* est en communication avec l'intérieur d'une bouteille de Leyde E, et le conducteur suspendu *m* avec la garniture extérieure, il y a aussitôt attraction entre les corps *m* et *m'*, laquelle peut être mesurée au moyen des poids placés dans le plateau *t*. La distance entre les points les plus rapprochés des conducteurs *m* et *m'* est évaluée au moyen d'un tube gradué et de la vis de micromètre *h*. Pour opérer avec cet appareil, M. Harris a pris une bouteille de Leyde E qui présentait une surface d'environ 5 pieds carrés, et il l'a mise en communication avec le mesureur *u*. On savait auparavant que le nombre des charges correspondant à

une accumulation dont la force attractive, agissant entre les deux surfaces m et m', équivalait à une force de 4, 5 grains.

En doublant la quantité d'électricité accumulée, la force s'élevait à 18 grains. Si on la triplait, l'accumulation balançait une force de 40,5 grains, et ainsi de suite. Ces résultats sont absolument semblables à ceux qu'on avait obtenus par l'autre procédé.

1356. M. Harris a fait diverses expériences pour déterminer les circonstances qui influent sur les attractions et répulsions électriques entre des corps électrisés et d'autres qui ne le sont pas, je me bornerai à donner ici un résultat qui confirme les observations d'Hauksbée et d'autres physiciens (1346).

Une boule de cuivre b (fig. 13), d'environ deux pouces de diamètre, ayant été fixée à l'extrémité d'une tige de métal isolée, et placée au centre d'une grande cloche, fut mise en communication avec un électroscope A, au moyen d'une autre tige, puis on donna à cette boule une quantité d'électricité telle, que la déviation de l'électroscope fut de 40°. Cette divergence se maintint quand on enleva les $\frac{59}{60}$ de l'air de la cloche, mais si l'on approchait de la boule b une autre boule semblable b', non électrisée, au moyen d'une tige glissante, l'électroscope commençait à baisser et s'écartait de nouveau dès l'instant que l'on retirait b'.

Un électroscope à feuilles d'or (fig. 14), renfermé dans une cloche de verre de laquelle l'air ne pouvait sortir, ayant été placé sur une tige isolante, puis recouvert d'une grande cloche, la divergence n'éprouva non plus aucun changement, quand on retirait les $\frac{69}{70}$ de l'air; en approchant une balle isolée n, les feuilles se rapprochaient graduellement pour s'écarter de nouveau quand on la retirait.

Ces expériences nous montrent que puisque les particules de l'air peuvent être enlevées, sans que l'électroscope indique un changement sensible, tandis que la divergence décroît à l'instant où l'on approche un corps

électrisé et se rétablit quand on le retire, il faut que l'influence de l'air ne modifie pas d'une manière appréciable l'action répulsive des deux électricités quand leur tension ne dépasse pas une certaine limite, et que la modification que cette action éprouve, par l'approche d'un corps non électrisé, soit produite par des causes qui sont en rapport avec ces corps.

CHAPITRE VI.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES DE M. HARRIS SUR LES LOIS FONDAMENTALES DES ACTIONS ÉLECTRIQUES.

§ I^er. *Description des appareils.*

1357. J'AI exposé avec de grands développements dans le second volume (90, etc.) les recherches expérimentales de Coulomb, pour la détermination des lois élémentaires de l'électricité, ainsi que les travaux analytiques de M. Poisson relatifs à la distribution de l'électricité sur la surface des corps. L'accord parfait qui existe entre les résultats de l'expérience et les déductions de l'analyse est tel qu'il est admis aujourd'hui par tous les physiciens que l'on ne peut rien ajouter aux grandes découvertes de Coulomb, touchant les lois de l'action à distance, que des faits de détail qui ne peuvent les infirmer en rien.

Cependant, depuis quelques années on a commencé à attaquer quelques-unes de ces lois; je citerai particulièrement M. Harris, qui a entrepris une série de recherches dans le but de montrer qu'elles n'ont pas la généralité qu'on leur accorde (1). Quelque prévenu que l'on soit contre un travail de cette nature, comme il repose sur des expériences et par conséquent sur des faits, j'ai pensé qu'il était de mon devoir de les exposer ici,

(1) Trans. philos. 1836.

afin que les physiciens puissent les discuter et voir jusqu'à quel point les conséquences qu'on en tire sont fondées.

Je dois faire observer néanmoins que M. Harris, tout en reconnaissant que les résultats qu'il a obtenus sont quelquefois en plein désaccord avec les grandes découvertes de Coulomb, avoue cependant qu'ils peuvent y rentrer, si l'on a égard aux phénomènes d'induction qui ont lieu à de petites distances entre deux corps électrisés ; au surplus, il désire et provoque même une discussion des résultats qu'il a obtenus, disposé qu'il est à accueillir favorablement les observations qu'on pourra lui adresser à ce sujet Tout en payant un tribut d'hommages aux physiciens qui ont illustré la partie de l'électricité qu'il explore de nouveau, il ajoute qu'en rendant compte de faits déduits de l'expérience et de l'induction, son but a été uniquement d'étendre le cercle de nos connaissances, sans chercher à renverser, uniquement par esprit de système, des théories solidement établies.

M. Harris a reconnu que la balance de torsion qui a rendu de si grands services à la science, était d'un usage un peu difficile, et présentait quelque inconvénient dans l'emploi d'un fil de métal, dont l'élasticité n'est jamais parfaite; c'est pour y remédier qu'il a construit une nouvelle espèce de balance appelée balance *bifil*, à cause des deux fils dont on fait usage au lieu d'un seul. La force de réaction de cet instrument ne provient d'aucun principe d'élasticité, comme dans la balance de torsion, mais bien de la pesanteur Je vais essayer d'en donner une description aussi succincte qu'il me sera possible.

1358 Lorsqu'une aiguille *m n* (fig. 15) est suspendue à deux fils de soie non tordus *a b a' b'*, placés parallèlement l'un à l'autre, à égale distance des centres *c*, *c'*, et fixés aux points *a a'*, elle est dans sa position d'équilibre quand elle est horizontale dans le plan vertical passant par les deux fils Au moyen de cette disposition en tournant l'aiguille autour de l'axe imaginaire *c c'*, les lignes de suspension se dévient de la verticale, et la dis-

tance $c'c'$ devient moindre On a donc une force de réaction provenant du poids de l'aiguille, laquelle est transmise, pour ainsi dire, aux points de suspension, puisque le centre de gravité de la masse s'élève et tend sans cesse à revenir dans sa position première, et se trouve dans une position semblable à celle d'un corps qui tombe suivant un très-petit arc circulaire. D'après cela, si l'on fait osciller l'aiguille et qu'on observe les effets produits, on peut déterminer, au moyen des formules relatives aux corps oscillants, la nature de la force qui produit les oscillations

1359 Voici les accessoires de la balance bifile : un cylindre de bois P (fig. 16), de 2 pouces de hauteur, et de 2 pouces de diamètre, est suspendu à deux fils de soie de cocon *a b*, *a' b'*; un index fixé au cylindre indique sur un cadran gradué *i g* la durée et l'étendue des oscillations Les fils *a b*, *a' b'* sont suspendus dans un châssis convenable *s d e s* (fig 17), soutenu par une base solide A B, élevée sur des vis à niveau; chaque fil, après son passage dans de petits trous pratiqués dans la barre mobile *r r'*, est joint au-dessus à un gros bout de soie se continuant par des trous dans la barre fixe *d e*, et s'attachant enfin à des chevilles régulatrices en *d* et *e*. Au moyen de cette disposition, les fils *a b*, *a' b'* sont mis promptement en place, comme dans la fig. 16. En changeant de position la barre *r r'* (fig 17), on fait varier les fils de longueur Des trous successifs en *r r'* correspondant à d'autres points placés à des distances égales, permettent de varier les distances respectives des fils.

Le centre du cylindre *c* (fig. 16 et 17) étant suspendu au-dessus du centre du cercle gradué *i g*, on intercale entre les fils, à des distances données, des arrêts s' s'' s''', en roseau ou en liége, afin d'empêcher leur contact; l'index étant tourné d'un angle de 60°, le poids P oscille, et on note avec soin le temps d'une oscillation.

Voici les résultats obtenus : 1° Le temps d'une oscillation est comme la racine carrée de la longueur

Le tableau suivant donne le poids en grains, déterminé par le calcul et l'expérience, qui est nécessaire pour balancer la force de réaction des fils à divers angles de déviation de 0 à 300°; les fils ayant 24 pouces de long et étant placés à pouce 0,25 de distance, et le poids du cylindre étant de 960 gr.

TABLEAU III

ANGLE de déviation	10	20	30	60	90	100	120	150	180	200	240	270	300
FORCE déterminée par la formule	0,115	0,23	0,34	0,69	1,03	1,15	1,38	1,72	2,07	2,3	2,76	3,1	3,45
FORCE déterminée par l'expérience	0,11 +	0,22	0,34 —	0,67 +	1	1,1	1,35	1,7	2	2,25	2,725	3 +	3,425

L'accord qui règne entre les résultats de l'expérience et les déductions du calcul prouve l'exactitude de la formule précédemment établie

Pour faire ces expériences, on a employé une petite poulie p (fig. 17) extrêmement mobile, un plateau f qui pesait 1 grain et qui était suspendu à un fil de cocon, le $\frac{1}{10}$ d'un grain affectait l'index

1360. Au moyen de ces préliminaires on concevra facilement la description et l'usage de l'électromètre (fig. 18) : $a'' d$ est une cage cubique formée de quatre grands carreaux de verre, disposés comme l'indique la figure.

Une aiguille isolante de verre $m n$ (fig. 18 et 19), de 10 pouces de longueur, est suspendue dans la cage à deux fils de cocon, de la manière indiquée précédemment. Elle est en relation avec un index vv, au moyen d'une tige verticale $o o'$ fixée à son centre. Cet index, qui a environ 9 pouces de long, est placé à angles droits avec la direction de l'aiguille; et, en tournant autour du cercle divisé $v h' v'$, elle fait connaître les déviations de l'aiguille.

Un petit disque *n* formé d'une lame d'or, de 0,4 de diamètre et de 0,05 de pouce d'épaisseur, avec les bords polis, est fixé à une des extrémités de l'aiguille, et un petit disque *m* de verre, de même dimension et recouvert d'une couche de vernis, à l'autre extrémité. L'aiguille est d'une nature tellement isolante que le disque de métal conserve longtemps l'électricité qu'on lui communique.

La tige verticale de cuivre *ou*, qui supporte l'index *vw*, a une longueur d'environ 4 ½ pouces et 0,25 de diamètre.

L'aiguille *mn* avec son index et ses accessoires est suspendue au faible châssis *axa'* (fig. 18).

L'index *vw* est formé de deux morceaux de paille insérés l'un dans l'autre, et fixés au bout d'un fil court de cuivre, d'environ 2 pouces de long, passé dans la tige *ou*, à environ 4 ½ pouces au-dessous de l'aiguille, de manière à la dépasser d'environ ½ pouce. Immédiatement au-dessus de l'index se trouve une lamelle de cuivre adaptée à la tige au moyen d'un tube et destinée à recevoir de petits poids circulaires, au moyen desquels on peut augmenter la force de réaction des fils. Le poids de l'aiguille avec son index et ses accessoires est d'environ 480 grains.

L'extrémité inférieure de la tige de l'index en *u* présente un trou conique qui permet au système de jouer librement sur un pivot central fixé à l'extrémité d'une tige cylindrique *uz*.

A peu de distance du point central *z* se trouvent deux autres tiges de cuivre *cc'* fixées à la base de la cage, portant, l'une, une baguette recourbée *yw* qui est fixée au moyen d'un petit rond de bois, et se termine en une fourchette *w* d'environ 0,5 de pouce de large : un des bras de l'index *vw* peut, quand on élève ou que l'on abaisse la tige, passer au milieu de cette fourchette, et être arrêté dans ses oscillations. L'autre tige *c'* est munie également d'une tige recourbée *c'w'*, au moyen de laquelle on peut agir sur l'autre bras de l'index et maîtri-

ser également les oscillations de l'aiguille. Deux autres tiges $\pi\pi'$ (fig. 18), qui passent avec frottement à travers la base de la cage, supportent deux petites feuilles métalliques fixées temporairement aux extrémités des tiges. Un disque isolé *p*, ou un disque de verre isolé et recouvert, est suspendu dans la cage. Ces disques sont semblables à ceux de l'aiguille *mn* Outre les disques *mn* et *p*, on peut placer à volonté dans la cage d'autres petits plans d'épreuves isolées.

Sur la partie supérieure *a'' l* de la cage se trouve un cercle divisé ATI d'environ treize pouces de diamètre. Ce cercle a deux parties en croix *tt'* AI (fig 18 et 19), à l'intersection desquelles se trouve un grand trou M (fig. 19) destiné à recevoir le pivot creux vertical *p* (fig. 18 et 20), au moyen duquel on peut faire tourner le cercle autour de son centre. La quantité angulaire, dont le cercle est tourné, est indiquée par un petit index courbé, placé en I (fig 18).

Afin d'apprécier la quantité angulaire dont on tourne la plaque supérieure, on place un cercle gradué *i f*, (fig. 18 et 20), de 6 pouces de diamètre, au-dessus du cercle A I. Le cercle gradué *i f* est muni d'un index *r* qui indique la quantité angulaire dont la plaque mobile a été tournée, et par conséquent le *quantum* de la force de la déviation imprimée à l'aiguille *mn* par les fils de suspension.

1361. Lorsque l'on veut se servir de cet instrument comme de balance de torsion, l'aiguille munie de son index est suspendue à un fil métallique, comme on le voit fig. 21. Afin d'équilibrer l'aiguille, quand cela est nécessaire, les deux cylindres glissants *b, b'* sont munis de crochets de suspension, tournés en dessous Cette suspension permet de suspendre aux crochets des petits poids *ww'* et de les placer à des distances respectives du centre, telles qu'elles puissent maintenir l'aiguille *mn* dans une position horizontale. Cet instrument, au moyen d'un micromètre en *x*, est une balance de torsion très-complète, qui possède plusieurs avantages importants, entre autres

de pouvoir augmenter ou diminuer de sensibilité en changeant la longueur du fil, la force de sa réaction étant, comme on le sait, dans un simple rapport inverse avec sa longueur.

L'expérience prouve que la force de réaction obtenue avec deux fils de soie parallèles est plus exacte, dans un grand nombre de cas, que la force élastique de torsion d'un fil métallique. La déviation des fils de la verticale peut être extrêmement faible; la déviation angulaire de l'aiguille excède rarement 90°, quoiqu'en augmentant le nombre des attaches $s' s''$ on puisse lui faire parcourir le cercle entier.

Je dois faire remarquer que dans cet appareil comme dans la balance de torsion, on peut commettre de graves erreurs, avec de grands arcs, en prenant l'arc lui-même comme la mesure de la distance entre les corps opposés p, n (fig. 18), et la longueur du levier à l'extrémité duquel la force agit comme égale au rayon ou à la moitié de la longueur de l'aiguille. Mais M. Harris a trouvé qu'ici les erreurs se balancent à peu près: un des facteurs du momentum de la force étant le cosinus de la moitié de l'angle, et par conséquent moindre que le rayon sur lequel agit la répulsion, tandis que l'arc pris pour mesurer la distance est toujours plus grand que sa corde ou la distance réelle. Au moyen de cette balance, la force de réaction que possèdent les fils de suspension, peut varier dans une position quelconque, soit en changeant la position de la base glissante rr', qui change leur longueur, ou en variant leur distance réciproque, etc. On peut obtenir une force $\frac{1}{10000}$ de grain pour chaque degré, et même $\frac{1}{50000}$.

§ II. *Usage de la balance bifile.*

1362. La balance bifile peut servir: à rechercher les lois de la force répulsive développée entre les corps isolés $p\ m$ (fig. 18 et 19), en faisant varier la distance, l'intensité de la charge et autres conditions. Je ne puis

entrer ici, en raison de leur étendue, dans tous les détails des expériences faites à ce sujet.

Dans les recherches relatives aux lois des actions électriques, avec cet instrument ou la balance de torsion, il faut avoir égard à plusieurs considérations que Coulomb n'a pas négligées non plus.

Lorsqu'une expérience dure un certain temps, les corps électrisés perdent une partie de leur électricité; pour remédier à cet inconvénient, on évalue, comme l'a fait Coulomb, la quantité d'électricité perdue, et on corrige en conséquence les résultats. Cette opération présente quelquefois des difficultés, en raison des diverses circonstances dont il faut tenir compte; mais M. Harris pense qu'il vaut mieux choisir pour l'expérience une saison favorable et opérer dans une chambre sèche, doucement chauffée par un poêle; en opérant avec ces conditions, il a été étonné de voir combien les corps conservent longtemps leur électricité.

D'un autre côté les corps isolants n'isolent toujours qu'imparfaitement et peuvent même s'électriser; pour éviter cet inconvénient, on les expose à l'influence de petits morceaux de fer chauffés au delà du rouge; on enlève par ce moyen l'électricité qui adhère à leur surface

1363. Arrivons maintenant aux expériences :

D'après Coulomb, l'action produite entre deux corps électrisés et isolés est directement comme la quantité d'électricité possédée par chacun d'eux et en raison inverse du carré de la distance, ainsi la force totale à une distance D est représentée par $\frac{F}{D^2}$ ou par $\frac{RR'}{D^2}$ en représentant par R et R' la force de chaque corps. Cette expression $\frac{RR'}{D^2}$, suivant M. Harris, coïncide dans plusieurs cas avec les résultats de l'expérience; mais elle ne peut être considérée comme une loi générale, attendu les exceptions que l'on trouve quelquefois; d'après cela et contrairement à l'opinion générale, la loi de Coulomb n'au-

rait pas la généralité qu'on lui a reconnue jusqu'ici. Laissons parler maintenant l'expérience avant d'en rien conclure :

Les résultats consignés dans le tableau suivant ont été obtenus dans une série d'expériences faites lorsque les disques électrisés *pm* (fig. 18) étaient placés dans une atmosphère parfaitement isolante, à diverses distances l'un de l'autre et chargés de quantités égales ou inégales d'électricité. Les charges relatives ont été obtenues avec le plan d'épreuve de Coulomb. On a pris pour unité de charge la quantité d'électricité nécessaire pour produire une répulsion de 24°, quand elle était partagée également entre les deux disques ; la puissance réactive de l'instrument était environ de $\frac{1}{1500}$ de grain pour chaque degré ; la longueur des fils de suspension était de 20 pouces, et leur distance mutuelle de 0,25 de pouce.

DISTANCES		FORCES avec des charges également réduites			FORCES avec des charges réduites et inégales					
Degrés	Rapport de distance	1 : 1	$\frac{1}{2}$: $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$: $\frac{1}{4}$	1 : $\frac{1}{2}$	1 : $\frac{1}{4}$	1 : $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$: $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$: $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$: $\frac{1}{8}$
2	1/12	.	..	40.	..	Attractive	Attractive		Attractive	
3	1/8		. .	30		62 .	30 .	55	20. .	16
6	1/4	.	85. .	18. .	94	46	23	30	10 .	8
9	3/8 .	125	42	8+	70	34	16−	11	8	4,5
12	1/2	94	23. ..	4,5	47.	23 ..	10+	8+	5−	2+
18	3/4	44	10,5	2+	20 ..	10	5 ...	3+	2 .	
24	1 .	24	6	1+	12 .	6 .	3 . .	2	1+ .	
48	2 .	6	1,5		3	1,5				
72	3 .	3			1 +	.	. .			
D	R	A	B	C	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*

De ces résultats M. Harris tire les conséquences suivantes :

1° Dans les colonnes A, B, les disques étant chargés également et avec une intensité donnée, les forces va-

rient (à une ou deux exceptions près) dans un rapport inverse des carrés des distances respectives.

Dans la colonne A, il n'y a qu'une exception : elle a lieu à la distance de 9 degrés. Lorsque l'on commence à diminuer la quantité d'électricité fournie à l'un des disques, ou à les charger inégalement, cette loi n'est apparente que jusqu'à une certaine limite ; en effet, à la distance de 12° et 6° dans les colonnes *a*, *b*, *c*, comme aussi à 12° et 9° dans la colonne A et de 6° et 9° dans la colonne C, la loi est dans un rapport inverse de la simple distance, ou à peu près, tandis que, dans de certaines limites, et à d'autres distances, la loi de la force devient irrégulière et paraît troublée par quelque influence étrangère. Des résultats semblables sont plus ou moins apparents dans toutes les colonnes où les quantités d'électricité des corps sont inégales.

2° Les infractions à la loi de Coulomb sont plus apparentes et plus décidées, quand les forces sont plus faibles, l'inégalité des charges respectives plus grande et la distance moindre. Dans ces diverses conditions, l'accroissement d'action des forces répulsives diminue, et la répulsion incline vers l'attraction, qui finit par l'emporter.

3° Les quantités d'électricité contenues dans l'un ou l'autre des corps ne sont pas toujours proportionnelles aux forces répulsives Ainsi, dans les colonnes *B*, *d*, les quantités respectives sur un des corps sont comme deux est à un, la quantité de l'autre restant égale à $\frac{1}{4}$; tandis que les forces répulsives sont presque comme trois est à un, ou approchent beaucoup de ce rapport. La même chose se voit dans les colonnes *b*, *d*, où les quantités sont dans les proportions de 1 : $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$: $\frac{1}{4}$. On observe aussi dans les colonnes B et C que les quantités respectives sont comme 2 : 1, sur chacun des disques ; tandis que les forces correspondantes ne sont pas :: 4 : 1, mais à peu près comme 5 : 1. Ces résultats sont, il faut l'avouer, en plein désaccord avec les grandes lois fondamentales découvertes par Coulomb. Cependant elles peuvent y rentrer si l'on a égard aux phénomènes d'induction qui ont lieu à de petites distances, entre deux

corps électrisés; phénomènes qui doivent modifier les actions attractives et répulsives, et dont l'étude est d'une grande importance pour l'interprétation d'effets anomaux qui masquent les lois.

1364. M Harris regarde comme évident que l'induction, entre deux corps électrisés de la même manière, peut se modifier indéfiniment, suivant diverses circonstances de quantité, d'intensité, de distance; d'où résultent des phénomènes en apparence complexes.

Voici encore des résultats qui tendent à mettre en évidence les modifications dont il est question :

Distance	Force	Distance	Force	Distance	Force	Distance	Force	Distance	Force	Distance	Force
4	18	4,5	110	10	65	13	74	17,5	117	20	150
5	5 +	9	51	20	20	26	26	35	35	26	90
		18	15							40	40
										52	23 +
A		B		C		D		E		F	

Interprétons maintenant ces résultats. On voit d'abord que dans la colonne A, où les intensités sont peu considérables et les distances petites, la force est comme $\frac{1}{d}$ ou à peu près; tandis que la colonne F, où les intensités sont considérables et les distances grandes, la force est sensiblement comme $\frac{1}{d^2}$; dans les autres colonnes BCDE, les forces sont presque dans le rapport de 3 : 1, quand les distances sont comme 2 : 1, excepté dans un cas (colonne B) où la force est à peu près comme $\frac{1}{d}$ lorsque les distances sont petites.

§ III. *Du plan d'épreuve et de ses indications.*

1365. M. Harris a examiné ensuite plusieurs ques-

tions fondamentales de la théorie de l'électricité statique; particulièrement celles qui sont relatives aux indications du plan d'épreuve, qui joue un si grand rôle dans les *Recherches expérimentales* de Coulomb

Le plan d'épreuve destiné à faire connaître la tension de l'électricité en un point quelconque d'une surface électrisée, a été envisagé de deux manières différentes par les physiciens. M. Biot dit que ce plan, en s'assimilant avec un élément superficiel d'un corps électrisé, enlève autant d'électricité sur une des deux faces, qu'il en existe sur l'élément où on l'applique; en l'enlevant il est donc chargé d'une quantité double D'un autre côté, M Pouillet considère le plan d'épreuve comme étant à l'instant du contact dans le même état que l'élément superficiel de mêmes dimensions et dans les mêmes conditions électriques lorsqu'on l'enlève. L'électricité serait donc d'abord recueillie par une des faces seulement, et se répandrait ensuite sur l'autre; dès lors chaque face n'aurait que la moitié de la quantité que l'élément superficiel possédait d'abord.

Ces idées sur le plan d'épreuve sont loin d'être partagées par M. Harris, comme on va le voir; voici les faits qui lui ont servi à fixer les siennes relativement à ses indications :

Lorsqu'un plan d'épreuve isolé est plongé dans une sphère creuse, chargée d'électricité, il ne présente pas d'indication électrique quand on le retire; tandis qu'en touchant la surface extérieure, le corps isolé devient fortement électrique C'est un fait sur l'exactitude duquel on ne saurait élever aucun doute.

D'un autre côté, Coulomb a trouvé, avec le plan d'épreuve, que lorsqu'on touche une sphère chargée avec une plaque circulaire isolée, dont l'une des surfaces est égale à la surface extérieure de la sphère, elle ne présente plus que le $\frac{1}{3}$ de la force de réaction qu'elle indiquait avant le contact, d'où l'on conclut que la quantité restante sur la sphère, après le contact, n'est que le tiers de celle qu'elle possédait auparavant, et que par

conséquent la charge s'est partagée entre la plaque et la sphère dans la proportion des surfaces. Pour voir jusqu'à quel point ces résultats étaient exacts, M. Harris a fait les expériences suivantes : il a pris deux sphères conductrices de 4 pouces de diamètre chacune *s s'*, et une plaque circulaire de 8 pouces P (fig. 22).

Ayant isolé et chargé la sphère *s*, ainsi que le disque de l'aiguille de la balance, avec la même électricité, il a cherché la réaction électrique au moyen d'un disque d'épreuve. L'aiguille de la balance a été repoussée à 22°, la force de réaction de l'instrument était égale à $\frac{1}{1000}$ de gr par chaque degré. On a touché la sphère chargée avec la plaque isolée P, en observant ensuite la réaction électrique. Puis on a donné de nouveau la charge primitive à la sphère, de manière à obtenir encore une force de 22°, et on a répété l'expérience avec la seconde sphère isolée *s'*. Les résultats obtenus dans ces diverses expériences, et qui sont consignés dans le tableau suivant, montrent que les réactions électriques, après les contacts respectifs avec la plaque et la sphère dont les aires sont égales, au lieu d'être comme 2 : 1 selon la théorie, sont presque les mêmes, tandis que les forces correspondantes à 22° de distance, comparées avec la réaction de la charge primitive, sont presque comme 3 : 1.

REACTION avant le contact à 22° de distance.	REACTIONS APRÈS LE CONTACT			
	REACTION à 14°		REACTION à 22°	
	Plaque	Sphere	Plaque	Sphere
22°	14° —	14° +	7°	8° —
A	B		C	

Dans la colonne A se trouve la force communiquée d'abord au plan d'épreuve ; dans la colonne B, la force après les contacts successifs de la plaque et de la sphère ; la colonne C contient la réaction à la distance primitive de 22°.

Ce résultat montre donc que la capacité d'une sphère est la même que celle d'un plan circulaire d'aire égale dans lequel on la suppose transformée.

1366 Ce fait a encore été vérifié de la manière suivante : Les disques *pm* de la balance (fig. 18 et 19) étant mis en contact, et l'une des sphères isolées *s* (fig. 22), mise en communication avec le disque fixe *p*, on a opéré une charge qui maintenait l'aiguille à la distance de 48° ; puis on a touché la sphère *s* avec la plaque circulaire isolée P, et l'on a noté la nouvelle position de l'index à partir de zéro ; le disque de l'aiguille a ensuite été touché avec un disque neutre semblable, de manière à réduire à moitié la quantité d'électricité qui y était contenue et à l'égaliser avec celle du disque fixé, en supposant que la plaque eût enlevé à la sphère une moitié de la charge. On a encore observé la nouvelle distance de l'index depuis *o*, et les deux disques ont été mis de nouveau en contact, de manière à égaliser plus complétement la distribution entre les disques, lors même qu'il existerait une différence. Les réactions électriques ont été observées à la distance primitive de 48°.

Cette opération a été répétée en substituant une sphère égale en surface à la plaque circulaire, ainsi qu'une sphère solide de même diamètre. Voici les résultats obtenus : $f_1\,f_2\,f_3$ représentent les réactions ci-dessus mentionnées, la réaction primitive à la distance de 48° étant indiquée par $f\,3$. La force de réaction de l'influence est égale à $\frac{1}{2000}$; on a

RÉACTION à une distance de 48° avant le contact.	RÉACTIONS après le contact de la plaque			RÉACTIONS après le contact de la sphère			RÉACTIONS après le contact de la sphère solide.		
	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
48°	30	22,5	12	38	23	12 +	39	23	12
N	a	b	M	a'	b'	M'	a''	b''	M''

Nous voyons que le résultat est presque toujours le même, après le contact avec la plaque et les sphères, soit en égalisant d'abord l'état électrique des disques, comme dans f_1, ou ensuite comme dans f_2, ou encore après l'égalisation comme dans f_3. Ces expériences ont été répétées avec l'électromètre (fig. 23) (1), et on a trouvé que, soit que l'on soumette une sphère électrisée au contact d'une plaque circulaire de rayon égal, ou au contact d'une sphère semblable, creuse ou solide, les forces d'attraction sont égales, et les quantités soustraites sont précisément la moitié de la quantité primitive dont la première était chargée, ou à peu près.

1367. Considérons maintenant le cas d'un disque isolé qui, étant plongé dans une sphère électrisée, ne possède aucune électricité en sortant. M. Harris considère ce fait comme peu concluant en faveur de la non existence de l'électricité à la surface intérieure, attendu que l'on peut démontrer par l'expérience qu'un corps isolé plongé dans de la laque électrisée ne peut enlever aucune électricité, lors même qu'il existerait une accumulation actuelle.

On prend une petite sphère de verre $a a'$ (fig. 24), bien sèche, à laquelle on a adapté en a' un goulot verni avec de la laque; on la remplit presque entièrement de mercure sec, et le tout est placé dans un vase $b b'$, con-

(1) Trans. philos., 1834, p. 215.

tenant assez de mercure pour que le verre en ait une couche extérieure et intérieure. On électrise ce système, et on enlève le fil de charge *d* au moyen d'un manche isolant, puis la sphère chargée *a' a*, on verse le mercure contenu dans la sphère, on a alors un corps sphérique sur la surface intérieure duquel il y a une forte accumulation d'électricité libre. Cette sphère étant touchée intérieurement avec un plan d'épreuve isolé ne donne à ce dernier aucune charge d'électricité, quoiqu'il existe à sa surface intérieure de l'électricité libre. Si le plan d'épreuve est fixé à une tige conductrice isolée, se projetant au delà de la sphère, l'électricité est mise alors en liberté, comme dans le cas où un corps conducteur est placé dans une sphère de métal chargé, peu importe que la sphère ait ou non une garniture extérieure. L'électricité serait donc partout à l'état libre à la surface intérieure, et pourrait facilement se communiquer à un corps capable de la recevoir; pour tirer cette induction M. Harris s'est-il mis en garde contre l'action par influence exercée par la surface extérieure sur la tige conductrice?

Soit maintenant *dd'* (fig. 25), une plaque circulaire de verre que l'on pose sur une plaque conductrice *c*, dont le diamètre est d'environ la moitié de celui du verre; on met une plaque semblable *c'* sur sa surface supérieure, et l'on charge cet appareil en communiquant de l'électricité à la plaque supérieure, on enlève les armatures, et le verre est placé sur un support isolant. Si l'on touche alors le côté chargé avec le plan d'épreuve, on enlève naturellement de l'électricité libre. M. Harris infère de là que l'expérience du plan d'épreuve ne prouve nullement la non existence de l'électricité à la surface intérieure d'une sphère chargée. Cette conclusion nous paraît peu rigoureuse; car nous ferons remarquer que la théorie admet, d'après un principe de Newton, que l'action d'une couche sphérique d'électricité sur un point placé dans l'intérieur de cette sphère est égale à zéro, M. Harris répond à cette objection que lors même que l'électricité existerait réellement à la surface intérieure de la sphère, elle ne pourrait être transmise à un corps entièrement placé

dans son intérieur. Ainsi, selon lui, l'expérience du plan d'épreuve ne peut décider la question de l'absence d'électricité à la surface d'une sphère électrisée. Cette question a besoin d'être examinée de nouveau par les physiciens.

1368 Nous sommes conduits naturellement à examiner sous quelles conditions un petit disque isolé peut enlever par le contact de l'électricité à un conducteur, puisque des indications d'un plan d'épreuve dépend toute l'évidence expérimentale de la théorie de la distribution de l'électricité dans des corps de diverses formes.

L'électricité libre enlevée par un plan d'épreuve à un corps chargé, peut non-seulement dépendre de la quantité existant actuellement au point où on l'applique, mais aussi de la force inductive réciproque dont les corps sont capables; car il pourrait se faire que les forces inductives ne fussent pas les mêmes en tous les points. D'après cela, le plan d'épreuve ne prendrait pas dans chaque situation une quantité d'électricité proportionnée à celle de l'élément de la surface sur lequel on l'appliquerait. L'expérience suivante montre qu'il se passe quelque chose de semblable dans le contact, en effet :

On prend trois plaques métalliques circulaires et pareilles p, p' p'' (fig. 26, 27, 28); deux d'entre elles, p' p'', sont creusées en segments sphériques; ces plaques sont isolées au moyen de supports; la convexité de p' est placée au-dessus, et celle de p'' en bas, et l'on charge ces conducteurs isolés avec la même quantité d'électricité Les intensités respectives sont donc toutes égales Maintenant si l'on applique successivement un plan d'épreuve sur ces corps, en différents points semblablement placés, et qu'on observe les réactions électriques respectives, on trouve que la plus grande réaction électrique s'obtient sur la convexité p', la moyenne sur le plan p, et la plus faible sur la convexité p''.

Or, si, dans ces expériences, les points p, p', p'' représentent la situation du plan d'épreuve, on verra que dans la cavité p' il est plus complétement enveloppé par les molécules électriques du corps chargé; sur le plan, il

l'est beaucoup moins; et enfin, sur la convexité du segment p', les particules électriques s'en écartent dans toutes les directions.

Il paraît résulter de là, que la position seule d'un point, relativement aux autres parties du corps chargé, peut exercer une influence sur la quantité qu'enlève le plan isolé; dès lors tout ce qui tend à augmenter l'action inductive du plan d'épreuve, rapproche les réactions électriques du rapport d'égalité, si donc l'on donne au plan d'épreuve une extension considérable dans le sens de son épaisseur, ou autrement en le tenant par un fil électrique isolé w (fig 29), on augmente sa force d'induction, et les différences dans les réactions électriques avec une charge donnée, deviennent moindres

Il suit de là qu'en employant un plan d'épreuve d'une sensibilité inductive parfaite, on arrive à l'égalité dans les réactions des trois corps ci-dessus mentionnés On y parvient en expérimentant avec un plan d'épreuve formé d'un petit disque de verre, recouvert d'une couche de laque Si un élément semblable est substitué à un disque isolé, il aura, après le contact des corps chargés p', p'', une réaction égale départie par chacun d'eux

On peut encore, si l'on veut, étendre les limites du fil w (fig. 29); mais alors il faut pour cela mettre en communication les corps avec le disque fixe de la balance. on trouve alors que les forces répulsives départies aux disques de la balance sont égales

1369 M Harris, pour bien se rendre compte du mode d'action du plan tangent, a fait une série assez nombreuse d'observations sur les inductions de plans de diverses épaisseurs, appliqués à différents points d'un cylindre électrisé, d'environ 4 pieds de long et 2 pouces et demi de diamètre, et terminé par deux faces planes circulaires Les expériences ont été conduites de la manière suivante : le cylindre chargé c (fig. 23) a été placé sur deux pieds isolants $i\,i'$ fixés à une plate-forme mobile N. Par ce moyen, l'extrémité du cylindre pouvait être portée immédiatement sous le plan suspendu p de l'électromètre E. Quand on voulait communiquer au cylin-

tre une charge d'une quantité donnée, on disposait l'index de l'instrument depuis zéro jusqu'à un nombre déterminé de degrés dans la direction oy, au moyen de petits poids placés dans la coupe q On communiquait ensuite de l'électricité au cylindre c jusqu'à ce que l'index revînt à o Par ce moyen la distance pa était toujours constante pour une charge donnée; mais comme la force attractive est dans le rapport du carré de la quantité d'électricité possédée par le corps chargé, on n'avait qu'à faire varier dans ce rapport les degrés, et l'on obtenait ainsi une quantité double, triple, d'électricité sur le conducteur; l'index étant de nouveau ramené au zéro de l'arc xy, le cylindre chargé était retiré de l'électromètre. Le cylindre à chaque expérience était mis sous le plan de l'electromètre, et l'on remplaçait l'électricité dissipée pendant la dernière expérience Les plans d'épreuve abc, etc , employés étaient des plans circulaires, ayant un demi pouce de diamètre, et les épaisseurs suivantes · $a = 0{,}05$, $b = 0{,}12$, $c = 0{,}25$, $d = 0{,}5$, $e = 1$, $g = 2$. L'unité de longueur était égale à un pouce.

Voici les résultats obtenus · la force de réaction de l'instrument était d'environ $\frac{1}{1000}$ grain par chaque degré. f représente les premières déviations ainsi que les distances des corps répulsifs; F les réactions prises à une distance donnée; $d = 10$ degrés; $c\,d$ E indiquent les points touchés.

TABLEAU I.

	QUANTITÉ DE L'ÉLECTRICITÉ = 1, = 32 DEGRÉS DE L'ÉLECTROMÈTRE.															
	a.		*b*		*c.*		*d.*		*e.*		*g.*		*p.*		*q*	
	f	F	*f*	F	*f.*	F.	*f*	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F
C	3+	1	6	2,5	6,5	4	10	10	14	26	20	66	28	168	32	328
D	4,5	2	7+	5	9	8	14	26	20	55	29	220	31	320	32	328
E	6	3,5	10	10	14	26	19	60	24	92	30	226	32	323	32	328

TABLEAU II

	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ = $\frac{1}{2}$ = 8° DE L'ÉLECTROMÈTRE									
	d		*e*		*g*		*p*		*q*	
	f	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F
C	7	4	10	10	14	25	16	25	21	81
C'	9	8	16	32	20	55	22	70	21	81
E	14	25	16	30	20	35	22	70	21	81

En supposant que la distance donnée $d = 10°$ fût une de celles qui feraient considérer les forces répulsives comme proportionnelles aux quantités d'électricité dans les points respectifs du corps touché, on a, en prenant les racines carrées des forces respectives à 10°, les résultats suivants :

TABLEAU III.

	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ = 1 = 34° de l'électromètre							
	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*g*	*p*	*q*
C	1	1,6	2	3	5	7,4	13	18
C'	1,4	2,2	2,8	5	7,4	13	18	18
E	1,5	0	3	7	0,5	16	16	16

TABLEAU IV

	QUANTITÉ = $\frac{1}{4}$ = 6° D'ÉLECTROMÈTRE				
	d	*e*	*g*	*p*	*q*
C	2	3	5	5	9
C'	2,8	5,6	7,4	8	9
E	5	6	7,4	8	9

En examinant ces résultats, on observe : 1° dans la colonne horizontale C, tableau I, où les quantités d'électricité sont moins considérables, que les forces respectives f F sont dans les quatre premiers cas *a b c d*, dans un rapport inverse des distances ou à peu près : ainsi, l'on a pour la plaque *b*, force à 5° : force à 10° :: 5 : 2,

∵ 2 : 1. Cette loi cependant commence à changer et devient irrégulière, quand on augmente la quantité d'électricité; phénomène observé précédemment. Dans la colonne horizontale c', il en est de même, excepté quand les quantités d'électricité deviennent plus considérables la loi commence bientôt à changer comme sur la plaque d. Dans la colonne E la quantité d'électricité étant fortement accrue, la loi change encore plus vite; dans le tableau II on observe des effets semblables.

1370. Lors donc qu'on cherche à établir des rapports entre les quantités d'électricité qu'on suppose être distribuées sur le grand cylindre chargé à divers degrés, on peut s'attendre à les trouver plus ou moins troublés par l'action inductive, variable entre les corps répulsifs.

En se reportant au tableau III, on voit que le rapport du centre c à l'extrémité E est à peu près, d'abord avec des plaques ab, comme 1 : 2, résultat semblable à celui qui a été obtenu par Coulomb. Sous la plaque c ce rapport tend à changer, comme on le voit plus clairement au tableau I, c'est à ce point où la loi pour la plaque c touchée à l'extrémité commence à varier, ainsi qu'on le voit dans le même tableau.

1371. Tous les faits observés rendent donc très-probable que la quantité d'électricité enlevée à la surface d'un corps électrisé, au moyen d'un petit disque isolé et mince, peut être très-influencée par la position du point d'application, indépendamment de la quantité d'électricité possédée par ce corps au point touché, de sorte que la même quantité peut exister en deux points différents, et cependant ce plan d'épreuve se charger inégalement, si le pouvoir d'induction de la plaque est différent dans les points touchés. Si, par la position mutuelle des particules électriques, la susceptibilité inductive du disque tangent était à peu près nulle, ce plan ne se chargerait à aucun degré et serait aussi inefficace qu'une plaque de verre verni ou de quelque autre substance non conductrice, dont la susceptibilité inductive serait si faible, qu'elle n'enlèverait pas dans les circonstances ordinaires la plus faible

portion d'électricité à un corps chargé sur laquelle on l'appliquerait. M. Harris en conclut qu'il n'est pas improbable qu'un petit plan isolé plongé dans une sphère chargée, ne présente ces circonstances. Dans ce cas, ce plan ne se chargerait pas, quand bien même il y aurait réellement de l'électricité.

1372. Si toutes les considérations que je viens d'exposer sont exactes, il est quelquefois douteux que l'on puisse prendre le plan d'épreuve comme élément d'un corps chargé, puisque ne faisant pas partie intégrante de la surface, il en résulte des effets d'induction qui compliquent la charge prise par ce plan.

Quoi qu'il en soit, nous ne savons réellement rien de la distribution actuelle de l'électricité sur une surface chargée, si ce n'est par l'intermédiaire des corps qu'on y applique. D'un autre côté, M Harris, et depuis M. Faraday, comme nous le verrons bientôt, ont essayé de démontrer qu'un corps électrisé n'exerce une action à distance que par l'influence des parties matérielles placées entre lui et d'autres corps; ce qui porte à croire qu'une sphère électrisée, ou parfaitement isolée, dans le plus grand vide qu'on puisse obtenir, conserverait pendant un temps indéfini son état électrique, s'il était placé hors de l'influence d'une source d'attraction.

Je crois en avoir dit assez pour faire sentir la nécessité aux physiciens de soumettre les vues de M. Harris à de nouvelles épreuves expérimentales, afin de déterminer jusqu'à quel point les effets d'induction produits par les corps électrisés sur le plan d'épreuve, qu'on applique en différents points de leur surface, pour avoir les tensions électriques de ces points, compliquent les résultats obtenus, au point de faire perdre quelquefois aux lois de Coulomb toute leur généralité.



CHAPITRE VII.

DE L'INDUCTION D'UN COURANT SUR LUI-MÊME, OU A DISTANCE.

§ Ier. *Circonstances qui exercent une influence sur l'induction d'un courant sur lui-même.*

1373. Depuis l'époque où M. Faraday a fait sa belle découverte de l'action inductive qu'exerce un courant électrique sur un fil ou un barreau de métal, situé à une certaine distance, tous les physiciens se sont livrés à une foule de recherches pour étudier cette nouvelle propriété des courants. Le lecteur a pu voir dans cet ouvrage (1) une analyse des travaux qui ont été exécutés à ce sujet dans l'espace de quelques années. Récemment encore M. Henry, professeur de philosophie naturelle à New-Jersey, a étendu le domaine de cette partie de la physique; les résultats auxquels il est parvenu sont d'une telle importance, particulièrement en raison de l'intensité des effets obtenus, que je crois devoir les exposer ici avec quelques détails. Les divers appareils dont il a fait usage dans ses expériences consistent en spirales plates, formées d'un ruban de cuivre recouvert de soie, et auxquelles il donne le nom de spirale n° 1, n° 2, etc., et en hélices composées de fils longs qu'il appelle hélice n° 1, n° 2, etc., pour les distinguer entre elles.

(1) Tom. II, pag. 469 et suivantes

La spirale n° 1 est composée d'une lame de cuivre, du poids de 14 kilogrammes, de 30 mètres de longueur et de 4 centimètres de largeur. Sa forme est représentée en *a* (fig. 30). La spirale n° 2 n'a que 10 mètres de long et a la forme *b*, cette spirale est ouverte à son centre afin de pouvoir y introduire une hélice. Les autres spirales ont à peu près la même longueur, la même épaisseur, mais elles ont moitié moins de largeur.

L'hélice n° 1 est formée d'un fil de cuivre de 603 mètres de long et d'un demi-millimètre de diamètre; l'hélice n° 2, d'un fil de 904 mètres de long, et la troisième d'un fil de 319 mètres. La figure 31 représente ces hélices qui peuvent se mettre l'une dans l'autre, quand on veut n'en former qu'une seule. Le fil dont elles sont formées est recouvert de coton enduit de cire d'abeilles. L'hélice n° 4 a 546 mètres de long et le même diamètre que les précédentes, l'hélice n° 5, 1371 mètres de long et environ un demi-millimètre de diamètre; le fil de cette hélice est de cuivre argenté, recouvert de coton. On a fait usage, en outre, d'une grande roue formée d'un fil de cuivre enroulé en hélice, recouvert de coton, et de 4570 mètres de long. Cette roue tourne sur un petit axe de fer.

La direction des courants induits est déterminée au moyen d'une spirale électro-magnétique, formée de 30 spires, dans l'intérieur de laquelle on peut introduire une aiguille à coudre.

On s'est servi encore d'un petit fer à cheval, en fer doux, dont chaque branche est entourée d'un fil de laiton; d'une batterie formée de trois cylindres de cuivre et de deux cylindres de zinc interposés; elle présente une surface d'un décimètre carré en cuivre, et de trois quarts de décimètre en zinc Arrivons aux expériences :

1374. Lorsque l'électricité a une faible intensité, comme dans le cas où l'on emploie une pile thermo-électrique, ou un seul grand couple voltaïque, faiblement excité avec une dissolution acide, on obtient avec la spirale n° 1, les déflagrations les plus brillantes, tandis que les commotions sont très-faibles.

Avec 5 fils en spirale, formant une longueur de 100 mètres, la déflagration est moindre, mais les commotions sont plus fortes. On démontre que la limite de l'accroissement de l'intensité du choc a lieu quand la conductibilité du circuit a éprouvé une diminution suffisante.

En augmentant l'intensité d'action de la batterie, l'action de la spirale courte décroît. En employant une pile à auges, de 60 plaques de 4 pouces carrés, à peine observe-t-on un effet quand le courant provenant de la plaque de la pile passe à travers le fil de la grande roue; quant à la commotion produite par le courant induit, elle est trop forte pour être supportée.

En faisant toujours usage d'un fil long, on peut réduire la dimension des plaques de la batterie sans qu'il y'ait une diminution correspondante dans l'intensité de la commotion.

1375. Ayant pris une très-petite batterie, composée seulement de 6 petits morceaux de laiton, et d'un nombre égal de morceaux de zinc, quand le courant de cette batterie passait dans le fil de la roue, c'est-à-dire, dans un fil de près de 5000 mètres de long, la commotion se faisait sentir à la fois dans vingt-six personnes se donnant la main. Cet effet vraiment extraordinaire suffit pour donner une idée des effets produits par les courants induits, ayant une intensité considérable, quoique produits par une petite quantité d'électricité

1376. La forme du métal enroulé a une influence considérable sur l'intensité du courant. M. Faraday avait fait usage, dans ses expériences, d'une spirale formée d'un fort fil de cuivre, renfermant une tige de fer doux. Cette forme produit effectivement le plus grand effet quand on fait usage de la réaction magnétique; mais dans les cas d'induction, le professeur Henry a trouvé qu'on obtenait de plus grands effets en employant des rubans au lieu de fils. Dans ce cas, les différentes spires étant plus rapprochées, doivent exercer effectivement une plus grande influence les unes sur les autres.

§ II. *Conditions qui exercent une influence sur la production des courants secondaires.*

1377. Les courants secondaires ont été découverts par M. Faraday, en faisant réagir à distance des aimants, ou des courants électriques, sur des fils de cuivre. Le professeur Henry, frappé de l'action énergique des spirales plates, a voulu s'en servir pour étudier les phénomènes des courants voltaïques secondaires. Il a pris, à cet effet, la spirale *a* (fig. 30), disposée pour recevoir le courant de la petite batterie, et la spirale *b*, qu'il a placée sur la première, en les séparant l'une de l'autre au moyen d'une plaque de verre. Toutes les fois que le circuit *a* était interrompu, on obtenait un courant secondaire induit puissant dans le circuit *b*.

En frottant ensemble les extrémités de la seconde spirale, il se produisait une étincelle; ces mêmes extrémités, étant mises en communication avec une spirale magnétique, l'aiguille placée dans son intérieur devenait fortement magnétique, quand elles étaient en communication avec un appareil décomposant, on obtenait à chaque pôle un dégagement de gaz. Le choc produit par le second ruban était très-faible et se faisait à peine sentir dans les doigts.

1378. On a placé ensuite une hélice, dont le fil avait une longueur de 2605 mètres, sur la spirale *a*. Le poids de cette hélice se trouvait être précisément le même que celui du ruban, et par conséquent les différents effets provenant de la même quantité de métal dans les deux formes d'un conducteur long et d'un autre conducteur, pouvaient être comparés. Avec cet arrangement, les effets magnétiques obtenus avec l'appareil ci-dessus disparaissaient; les étincelles étaient beaucoup plus petites et les décompositions étaient également moindres qu'avec la spirale courte, mais le choc était presque trop intense pour qu'on pût le recevoir à travers le corps. Cinquante-six personnes le reçurent en même temps par la simple

rupture du courant de la batterie. Le professeur Henry a montré qu'il y avait une limite à l'accroissement de l'intensité du courant, aussi bien qu'au pouvoir de décomposition, avec un fil de diamètre donné. Il a montré en outre qu'en augmentant le diamètre du fil, on peut aussi accroître sa longueur et obtenir des effets plus marqués; et il en a conclu, ainsi que de diverses autres expériences, que les courants qui, d'après la théorie d'Ampère, sont censés circuler dans les aimants, sont analogues à ceux de la spirale courte, c'est-à-dire, qu'ils sont abondants en quantité et de faible intensité.

1379. Les expériences rapportées dans le paragraphe précédent ont été faites avec un seul couple; mais si l'on emploie une pile de 60 éléments, on obtient les résultats suivants

Lorsque l'on fait passer le courant dans la spirale n° 1, on n'obtient qu'une très-faible indication de courant secondaire dans une des spirales ou hélices disposées comme il a été dit précédemment La longueur de la spirale n'était pas en rapport avec l'intensité du courant de la batterie. Mais il n'en était plus de même en substituant la grande hélice n° 1 à la spirale n° 1 : on avait alors une action inductive puissante.

Les hélices n^{os} 2 et 3 ayant été réunies et placées dans l'hélice n° 1, le courant secondaire donnait de fortes commotions, une faible décomposition chimique et point d'aimantation dans le fer à cheval. On avait alors un courant induit intense produit par un courant d'une batterie énergique. L'expérience fut faite autrement; la spirale n° 3 fut placée sur l'hélice n° 1; le courant indirect ne donna point de commotion; mais il aimanta le fer à cheval. En frottant les extrémités du ruban, on obtint des étincelles brillantes; ce courant avait donc la propriété d'un courant très-abondant, c'est-à-dire formé d'une grande quantité d'électricité.

Ce fait et d'autres analogues établissent qu'un courant intense peut en induire un abondant, tandis que les expériences précédentes montrent que l'on peut obtenir le contraire.

On voit par là comment l'intensité et la quantité peuvent être produites toutes deux par la même induction.

On peut conclure de quelques-unes des expériences précédentes, que la quantité d'électricité en mouvement dans l'hélice est réellement moindre que dans la spirale de même poids Cet effet provient probablement de la plus grande résistance que présente le fil le plus long. Il paraît résulter des expériences précédentes, que, pour produire les effets physiologiques les plus énergiques, il ne faut qu'une petite quantité d'électricité se mouvant avec une grande rapidité.

M Henry s'est borné à donner les conditions générales qui exercent une influence sur l'induction voltaïque. Pour obtenir la loi de cette induction, il faudrait opérer avec une pile à courant constant, et pouvoir rompre le circuit d'une manière uniforme, condition assez difficile à remplir.

§ III. *De l'induction des courants secondaires à distance*

1380. Dans les expériences précédentes les hélices inductrices et induites n'étaient séparées que par une lame de verre; voyons quels sont les effets produits quand elles sont plus éloignées. La spirale n° 1 a été mise sous la forme d'un anneau d'environ 6 décimètres de diamètre, et l'hélice n° 4 placée comme l'indique la fig. 32. Lorsque la distance était de 4 décimètres, des chocs pouvaient être perçus sur la langue, leur intensité augmentait à mesure que la distance diminuait, et ils étaient très-forts dès l'instant que l'hélice se trouvait dans la place de l'anneau. On obtenait encore un plus grand effet quand elle se mouvait du centre à la circonférence; mais quand elle était mise en contact avec la circonférence extérieure en *b*, les chocs étaient très-légers; placée dans l'intérieur, l'axe à angles droits avec celui de l'anneau, on n'obtenait aucun effet.

Cet arrangement n'est pas le plus favorable pour

produire l'induction à distance, puisque le côté de l'anneau en *c* tend à produire un courant tournant dans une direction sur le côté le plus rapproché de l'hélice, et un autre courant dans une direction opposée, sur le côté le plus éloigné. L'effet produit est donc la différence des deux.

La spirale n° 1 n'étant pas changée, on a substitué, à la petite hélice, l'hélice n° 1, d'un diamètre de 37 centimètres : l'effet à distance a beaucoup augmenté. En ajoutant l'hélice n° 2 à l'hélice n° 1 et se servant des courants de deux petites batteries, on sentait distinctement les chocs sur la langue, quand la distance des plans de la spirale et des hélices réunies en une seule était de 1 mètre.

L'action inductive d'un courant pour produire l'aimantation du fer doux à distance, a une force surprenante, comme il est facile de le voir en plaçant un cylindre de fer doux dans le centre de l'anneau de la spirale.

1381. M Henry cite une expérience faite pour étonner les personnes qui ne connaissent pas les effets de l'induction : elle consiste à produire ces derniers à travers un mur de séparation entre deux chambres. La spirale n° 1 est suspendue au mur d'une chambre, tandis qu'une personne reçoit le choc dans une chambre à côté, en saisissant les bouts de l'hélice et les approchant de l'endroit opposé à celui où est suspendue la spirale. L'expérience réussit mieux à travers une porte ou une pièce de bois épaisse.

1382. L'action énergique des conducteurs en spirale permet d'imiter d'une manière très-frappante les effets de la machine magnéto-électrique, au moyen d'un courant continu. Il suffit pour cela de disposer deux spirales de manière à représenter les deux pôles d'un aimant en fer à cheval, et de faire tourner deux hélices dans un plan parallèle, pendant qu'on fait passer un courant constant à travers chaque spirale, dans des directions opposées ; l'effet de la rotation des hélices est précisé-

ment le même que celui de l'armature révolutive de la machine.

§ IV. *Sur les effets d'induction produits par l'interposition de différentes substances entre les conducteurs.*

1383. Davy a prouvé qu'on pouvait rendre magnétiques des aiguilles au moyen des décharges électriques à travers des corps conducteurs ou non conducteurs. L'action inductive paraît suivre la même loi, quoiqu'on ait souvent des effets qui lui sont opposés.

Pour faire cette épreuve, l'hélice composée n° 1 a été placée à environ 14 centimètres de la spirale n° 1, fig 33, et l'on a interposé entre elles une plaque de fer laminé d'environ 1 millimètre d'épaisseur. Il était impossible alors d'obtenir des chocs, tandis qu'ils étaient très-intenses en retirant la plaque. En substituant une plaque de zinc à la plaque de fer, l'effet était le même : tous les conducteurs parfaits se sont comportés de la même manière; tandis que les corps non conducteurs, comme le verre et le bois, ne paraissaient exercer aucune influence pour arrêter ou diminuer l'induction.

1384. En opérant avec des écrans conducteurs, on peut éprouver une faible sensation sur la langue Lorsque l'hélice est séparée de la spirale par une distance égale à l'épaisseur de la plaque, on éprouve cet effet avec une lame de zinc de 1 millimètre d'épaisseur; son intensité augmente avec l'accroissement de quantité du courant de la batterie; l'induction devient aussi plus intense à mesure que l'épaisseur de la plaque diminue.

1385. Les effets produits par les écrans métalliques sont dus aux courants instantanés qui se développent dans ces écrans par l'induction, comme il est facile de le montrer. En effet :

Une plaque circulaire de plomb, servant d'écran, ayant fait disparaître l'induction dans l'hélice, on a enlevé une languette de métal dans la direction d'un rayon :

l'effet a été le même que si elle n'eût pas été interposée. On démontre l'existence du courant dans le conducteur interposé en mettant en communication la spirale électro-magnétique, au moyen de deux fils, avec deux points de la plaque circulaire, comme on le voit fig 34. Au moyen de cette disposition une portion du courant passe dans la spirale Ce courant était secondaire, et la direction la même que celle du courant primaire

1386 Je vais montrer maintenant que l'influence de l'interposition est en quelque sorte produite par l'action neutralisante du courant indirect On substitue aux plaques la spirale plate n° 3; quand les deux bouts de celle-ci sont séparés, on reçoit des chocs comme si la spirale n'eût pas été interposée; mais si les deux bouts sont réunis, afin de former un circuit métallique, il est impossible d'obtenir des chocs La spirale neutralise donc comme la plaque métallique, et peut-être même plus complétement.

Diverses autres expériences prouvent évidemment que la neutralisation a lieu au moyen des courants induits dans les conducteurs interposés ou adjacents

Ces résultats paraissent à la première vue en désaccord avec le principe établi par Davy, savoir · que les aiguilles peuvent être rendues magnétiques par une décharge électrique, quelle que soit la nature de l'écran interposé Mais en y réfléchissant bien, on voit, d'une part, que dans le mode d'expérimentation qu'il avait adopté, la plaque de métal était placée entre un conducteur droit et l'aiguille; de l'autre, que cet arrangement a de l'analogie avec le circuit interrompu dans l'expérience avec la plaque coupée, qui ne se comporte pas comme un écran L'effet aurait été différent si la plaque avait été courbée en forme de cylindre avec les deux bouts en contact et l'aiguille placée dans l'intérieur.

§ V. *Sur la production et les propriétés des courants induits des 3e, 4e et 5e ordres.*

1387. Nous venons de voir que l'interposition d'une

plaque conductrice entre le courant primitif et le courant secondaire fait naître dans celle-ci un courant secondaire qui détruit l'effet du courant primitif; on devait en conclure que si le premier pouvait être écarté ou séparé de l'influence de l'autre, on pourrait avoir un courant induit dans un troisième conducteur. L'expérience a prouvé l'exactitude de cette conclusion. On dispose les spirales et les hélices comme l'indique la fig. 35. Le courant primitif passe par la spirale *a*, tandis que la spirale *b* est placée au-dessus pour recevoir l'induction; les extrémités de cette dernière sont mises en relation avec celles de la spirale *c*. au moyen de cette disposition le courant secondaire passe dans *c*; celui-ci étant hors de l'influence du courant primitif, son induction séparée est rendue manifeste par son action sur l'hélice *d*; si l'on prend alors les manches *m* et *m'*, on reçoit une forte commotion qui prouve l'existence d'un courant tertiaire. En multipliant les spirales et se conformant aux dispositions précédentes, on obtient des chocs avec des courants du 4ᵉ et du 5ᵉ ordre. Le courant secondaire, qui consiste pour ainsi dire en un flot d'électricité mis en mouvement pendant un instant, par l'induction du courant primitif, a le pouvoir d'induire un autre courant, mais d'une énergie un peu moindre que la sienne; c'est-à-dire qu'il a plus de quantité et moins d'intensité; il produit ainsi des effets en apparence plus grands, proportionnellement à la quantité d'électricité en mouvement, que le courant primitif.

1388. On conçoit très-bien la différence qui existe entre l'action des courants induits et celle des courants inducteurs ou provenant directement de la batterie. L'une consiste en une seule impulsion, l'autre en une succession d'impulsions semblables qui constituent une action continue. Dès lors, ces courants ont des propriétés différentes, qu'il est important de connaître pour bien les distinguer, en ayant égard à l'intensité. Le professeur Henry a reconnu qu'avec une petite batterie on peut faire ressentir la commotion à 25 personnes au

moyen d'un courant du 3ᵉ ordre; avec un courant du 5ᵉ ordre, les commotions se font sentir dans les bras, et vont en diminuant à mesure que l'on emploie des courants d'un ordre plus élevé.

L'action à distance est également plus forte qu'on ne pouvait le supposer, puisque l'on a ressenti distinctement sur la langue des chocs avec un courant tertiaire, lorsque l'hélice nº 1 était à la distance de 18 pouces, au-dessus de la spirale qui transmettait le courant secondaire.

Les mêmes effets d'écrans ont lieu au moyen des plaques de métal interposées entre les conducteurs de différents ordres, comme ceux qui ont été obtenus avec des courants primaires et secondaires.

Si l'on passe la grande hélice sur une spirale traversée par un courant secondaire, qui est un courant de quantité comme on l'a vu, il se produit un courant tertiaire ou d'intensité. On obtient encore un courant de quantité quand on fait passer le courant d'intensité de la dernière expérience à travers une seconde hélice et qu'on place dessus une autre spirale. On voit donc qu'avec ces courants, comme avec le courant primitif, un courant de quantité peut être induit par un courant d'intensité, et *vice versa*. L'appareil (fig. 36) indique la disposition que l'on doit adopter pour obtenir ces différents résultats. L'induction de la spirale *c* dans l'hélice *d* produit un courant d'intensité, et l'induction de l'hélice *e* un courant de quantité sur la spirale *f*.

Si les bouts de la spirale *b* (fig 35) sont unis à l'hélice *d*, au lieu de la spirale *c*, on n'obtient pas de chocs; dans ce cas, le courant de quantité de la spirale *b* ne paraît pas avoir une intensité suffisante pour traverser le fil de la grande hélice.

Ces exemples suffisent pour montrer les circonstances dans lesquelles se produisent les courants d'intensité et les courants de quantité.

1389. Les expériences de M. Faraday ont rendu probable qu'au commencement et à la fin du courant secondaire, son induction sur un fil adjacent est dans des direc-

tions contraires, comme cela a lieu à l'égard du courant primaire, relativement au courant secondaire; mais l'action d'un courant secondaire est tellement instantanée que les effets d'induction au commencement et à la fin ne peuvent être distingués l'un de l'autre On n'observe qu'une seule impulsion, qui peut être considérée comme la différence de deux impulsions dans deux directions opposées. Pour acquérir quelque lumière à ce sujet, on peut faire l'expérience suivante dans laquelle on emploie un courant du 4ᵉ ordre. La spirale magnétisante *g* (fig 36) est attachée aux bouts de la spirale *f*. La polarité de l'aiguille prouve que le courant fourni par *f* est dirigé dans le même sens que les courants secondaire et primaire. Il semble résulter de là que les courants de tous les ordres devraient avoir la même direction que le courant de la batterie, mais il n'en est pas ainsi, comme on va le voir :

1390. M. Henry, à la suite d'un grand nombre d'expériences, a été conduit à ce fait important, que les courants des différents ordres changent alternativement de direction à partir du courant secondaire; il a étudié ce mode d'action avec l'appareil décomposant et le galvanomètre. La direction des courants est établie comme il suit :

Courant primaire................	+
Courant secondaire...............	+
Courant de 3ᵉ ordre..............	—
Courant de 4ᵉ ordre.....	+
Courant de 5ᵉ ordre..............	—

Voici comment ce fait important a été observé : la spirale magnétisante (fig. 36), étant attachée aux extrémités de la spirale *f*, on a trouvé, d'après le sens de la polarité de l'aiguille, que ce courant était dans la même direction que les courants secondaire et primaire, tandis que la spirale magnétisante, placée à la suite de la 3ᵉ et de la 5ᵉ, a donné un courant en sens inverse. Il reste à expliquer pourquoi la loi de l'alternative fait dé-

faut entre le courant primaire et le courant secondaire. Quoi qu'il en soit, M. Henry s'est servi de cette loi pour expliquer l'action neutralisante des plaques interposées, en partant de l'induction du courant secondaire dans la plaque : quoique l'action de ce dernier soit dans le même sens que le courant de la batterie, il tend néanmoins à induire un courant de direction contraire dans la matière conductrice adjacente. Cette explication s'applique également à tous les autres cas de neutralisation qui ont lieu entre les conducteurs des différents ordres de courants.

Le même principe peut expliquer quelques effets que l'on rapporte à l'induction d'un courant sur lui-même : on sait qu'en mettant en communication une spirale plate avec la batterie, l'induction produit des étincelles à chaque rupture du circuit; mais si l'on pose sur la première spirale une autre spirale dont les bouts sont réunis, l'intensité du choc est de beaucoup diminuée; lorsque les diverses spires des deux fils sont mutuellement interposées, en enroulant les deux fils l'un sur l'autre, les étincelles disparaissent entièrement dans le ruban qui transmet le courant de la batterie, toutes les fois que les bouts de l'autre sont réunis. Dans ce cas, le courant induit dans la première spirale est un véritable courant secondaire qui est neutralisé par l'action du courant secondaire dans le conducteur voisin, puisque celui-ci tend à produire un courant dans une direction opposée.

Il paraîtrait, d'après l'expérience précédente, qui indique une parfaite neutralisation du courant induit dans la 1re spirale, que le courant induit dans le conducteur voisin est plus puissant que celui du premier conducteur, puisqu'il l'anéantit. On conçoit comment cela peut avoir lieu : les deux bouts de la seconde spirale étant réunis, elle forme un circuit parfait; tandis que le circuit de l'autre spirale peut être considéré comme interrompu, non-seulement à cause des solutions de continuité de la pile, mais encore parce que, pour rendre

l'étincelle visible, l'électricité doit être projetée pour ainsi dire à travers une petite distance dans l'air.

Il semble résulter encore des observations précédentes, que deux courants secondaires contigus, produits par la même induction, se contrarient partiellement l'un l'autre, car ces deux courants, se mouvant dans la même direction, tendent chacun à induire un courant dans une direction opposée.

§ VI. *Des courants induits de différents ordres, produits au moyen de l'électricité ordinaire.*

1391. On a vu précédemment que le courant secondaire dont la durée est instantanée peut induire un courant d'une énergie considérable; on a dû penser que l'on pouvait obtenir des effets semblables avec une décharge d'électricité ordinaire quand l'isolement est assez imparfait. Pour vérifier cette conjecture, le professeur Henry a fait l'expérience dont le dispositif est représenté (fig. 37): on prend un cylindre de verre creux *a*, d'environ 15 centimètres, avec une bande étroite de feuille d'étain, d'environ 10 mètres de long, qu'on enroule en spirale à l'extérieur, et une bande semblable, de la même longueur, qu'on enroule à l'intérieur, de sorte que les spires correspondantes des deux spirales sont directement opposées l'une à l'autre, afin que les effets de l'induction soient les plus forts possible. Les bouts de la spirale intérieure passent dans un tube de verre, pour empêcher toute communication directe entre les deux. Quand les bouts de la spirale intérieure sont mis en communication avec la spirale magnétisante *c*, et que l'on fait passer un courant dans la spirale extérieure, l'aiguille qui se trouve dans la spirale devient fortement magnétique, ce qui indique un courant induit à travers le fil intérieur, dans la même direction que celle du courant de la bouteille. En plaçant presque en contact les bouts de la spirale intérieure, on voit une

petite étincelle à l'instant où la décharge a lieu dans l'autre spirale.

Lorsque les bouts de la même spirale sont à une distance considérable, on peut obtenir une étincelle plus forte.

Toutes les fois que les bouts de la spirale extérieure sont réunis de manière à former un circuit tout métallique, on peut en tirer une étincelle en un point quelconque, quand on fait passer une décharge à travers la spirale intérieure. Les étincelles sont dues ici à des décharges latérales.

1392. Il résulte encore de diverses expériences, que la décharge de la bouteille de Leyde possède, comme la pile, la propriété d'induire un courant secondaire, et que cette induction est tellement en rapport avec le phénomène de la décharge latérale, que celle-ci participe de la nature d'un courant électrique ordinaire. Diverses expériences montrent aussi que l'on peut produire des courants de différents ordres avec l'électricité ordinaire. Mais nous n'entrerons dans aucun détail à cet égard, attendu que les résultats sont les mêmes qu'avec l'électricité voltaïque.

On a obtenu également des effets d'écrans semblables à ceux qu'on avait eus avec les courants ordinaires. Il en a été de même quand on a substitué des spirales aux plaques, comme il a été dit précédemment.

Dans toutes ces expériences, l'existence du courant induit a été déterminée au moyen de l'aimantation d'une aiguille placée dans une spirale en rapport avec l'une des grandes spirales. Je ne dois pas oublier aussi de dire que l'on a obtenu des chocs au moyen du courant secondaire. Les hélices c n^{os} 2 et 3 (fig. 38), ayant été réunies, furent mises dans un bocal de verre, et la spirale a, n° 2, placée autour de ce bocal. En saisissant les manches métalliques adaptés aux extrémités de l'hélice c, on éprouvait un choc au moment où la décharge traversait la spirale extérieure. Dans toutes les expériences, en employant l'électricité ordinaire ou l'électricité voltaïque,

les résultats ont été semblables. Je dois dire cependant que les courants de différents ordres obtenus avec l'électricité ordinaire, au lieu de présenter les alternatives des courants voltaïques, sont tous dans la même direction que la décharge de la bouteille.

1393. M. Henry, après avoir fait plusieurs expériences pour expliquer cette différence, a pensé que la direction des courants pouvait bien dépendre de la distance des conducteurs.

Pour vérifier cette idée, il a tendu parallèlement deux bandes étroites de feuilles d'étain, d'environ 4 mètres de long, en les séparant au moyen de plaques minces de mica à une distance d'environ un demi-millimètre; en faisant passer dans l'une d'elles la décharge d'une bouteille de Leyde, on obtenait dans l'autre un courant induit dans la même direction. Les rubans ayant été séparés par des plaques de verre à une distance d'un peu plus d'un millimètre, le courant cheminait encore dans la même direction. Quand la distance était de 3 millimètres, on ne pouvait obtenir de courant induit. En augmentant la distance, le courant a reparu de nouveau, mais dans une direction opposée. On n'a point remarqué ensuite d'autres changements dans la direction des courants. Dans ces expériences, la direction du courant a été déterminée par la polarité de l'aiguille placée dans la spirale magnétisante.

1394. En employant une bouteille de Leyde ordinaire et les conducteurs étant placés à une distance moindre, de $\frac{2}{10}$ de pouce, le courant induit était toujours dans la même direction que le courant primaire; mais quand on éloignait graduellement les conducteurs, on trouvait toujours une distance où la direction du courant commençait à changer. Cette distance dépendait de la force de la décharge, de la longueur et de l'épaisseur des conducteurs. Avec une batterie de 8 bouteilles, semblables à celle qu'on a déjà mentionnée, et en employant des fils parallèles, d'environ 3 mètres de long, le changement dans la direction n'avait pas lieu à une distance au-dessous de 3 à

4 décimètres; avec une batterie encore plus forte et des conducteurs plus longs, on ne trouvait aucun changement, quoique l'induction fût produite à la distance de 6 décimètres au-dessus.

Les courants de tous les ordres jouissent également de la propriété de changer la direction des courants induits avec la distance. Dans ces différents cas cependant, le changement a toujours lieu à une très-petite distance du fil conducteur, et sous ce rapport le résultat est semblable à l'effet d'un courant primaire de la décharge d'une petite bouteille.

1395. Voici encore une expérience qui donne une grande idée des effets d'induction produits par une forte décharge électrique. Cette expérience a été faite avec une batterie de 32 bouteilles et un fil de cuivre de 0,0025 mètres de diamètre, et de 26 mètres de long, dont les bouts ont été mis en communication avec la batterie. A côté de ce fil, s'en trouvait un autre ayant les mêmes dimensions et dont les bouts étaient en rapport avec une spirale magnétisante Les deux fils recourbés, comme l'indique la fig 39, ont d'abord été placés à la distance d'environ 3 millimètres, et ensuite séparés après chaque décharge de toute la batterie à travers le premier fil. Quand on faisait une rupture en *a*, l'aiguille en *b* n'était pas aimantée; mais quand le circuit était complet, l'aiguille par son aimantation indiquait un courant dans la même direction que celui de la batterie. En augmentant la distance jusqu'à près de 5 décimètres, la direction du courant ne changeait pas, et son intensité était suffisante pour donner le choc. Le second fil a été placé ensuite autour de l'autre, de manière à le renfermer; le magnétisme parut alors plus fort. La direction du courant était encore la même, on a continué à l'écarter jusqu'à ce que les deux fils fussent séparés à la distance de 4 mètres, excepté en un endroit où ils étaient croisés à la distance de 2 mètres; l'aiguille, à cette grande distance, était encore assez magnétique pour attirer la limaille de fer. La direction du courant était la même que celle

de la batterie. La longueur du circuit du fil intérieur était d'environ [illegible] mètres, et celle du fil extérieur de 39 mètres. Des effets d'induction analogues à ceux que je viens d'indiquer, doivent se manifester dans la décharge de l'électricité des nuages.

1396. Une décharge d'électricité ordinaire produisant un courant secondaire puissant dans un fil voisin, il est probable qu'elle doit produire un effet analogue dans le fil même où elle a lieu; mais il est bien difficile de l'observer. Le professeur Henry rapporte à ce sujet l'expérience suivante faite sur l'électricité atmosphérique, en 1836, par un comité de l'institut de Franklin : deux cerfs-volants avaient été attachés et élevés avec un petit fil de fer au lieu de corde, le fil s'étendant sur la longueur d'environ un mille. Le temps était parfaitement clair, et cependant les étincelles tirées du fil avaient une si grande force, que 15 personnes se donnant la main et debout sur le sol, reçurent en même temps la commotion, dès que le premier eut touché le fil. En saisissant une bouteille de Leyde par l'armature extérieure, et présentant le bouton au fil, on reçut une commotion très-forte, qui n'était que le résultat d'une induction soudaine et intense.

Ces effets ne doivent pas être attribués à l'électricité accumulée aux extrémités du fil, puisqu'il fallait approcher l'articulation du doigt à environ 6 millimètres avant de recevoir l'étincelle; il ajoute qu'on ne peut aussi les attribuer à la quantité, depuis que les expériences de Wilson ont prouvé qu'on ne produit pas le même effet avec une somme égale d'électricité répartie sur la surface d'un grand conducteur; il en conclut alors que l'effet observé est dû à l'induction d'un courant sur lui-même.

Le fil étant chargé d'une quantité considérable d'électricité faible, qui passe sous forme d'un courant dans toute sa longueur, il se produit une induction à la fin de la décharge, comme dans le cas où un long fil transmet un courant voltaïque.

Il paraît résulter des observations faites, qu'il est probable que le courant voltaïque, comme le cou-

rant électrique, produit d'abord une action inductive dans la direction même, et que l'influence inverse a lieu à une petite distance du fil.

Pour faire vérifier cette conjecture, M. Henry a placé l'hélice sur la spirale n° 1, pour recevoir l'induction, et ses bouts ont été unis à ceux de la spirale extérieure en étain du cylindre de verre (fig. 37), tandis que la spirale magnétisante était attachée au bout de la spirale intérieure. Il s'est produit alors un courant tertiaire faible, dont la direction était la même que celle du courant primaire Dans d'autres cas, le magnétisme était imperceptible, ou dans un autre sens. Avec un arrangement de 2 spirales, disposées autour de 2 cylindres de verre l'un dans l'autre, on obtenait le même effet. Le magnétisme était moindre quand la distance des deux séries de spires était plus petite; ce qui indiquait l'approche d'une position neutre. Ces résultats paraissent indiquer le même changement que la distance dans le cas des courants voltaïques. La distance à laquelle a lieu ce changement semblerait moindre avec les courants voltaïques qu'avec les décharges.

Aussi tout concourt à prouver qu'il y a une parfaite analogie entre l'action inductive du courant primaire de l'appareil galvanique et celui de la batterie électrique; seulement, le point de changement de chacun d'eux avec la batterie paraît s'effectuer à une grande distance.

1397. L'effet neutralisant des plaques interposées peut s'expliquer en disant que lorsqu'on agit en même temps sur un troisième conducteur par un courant primaire et un courant secondaire, à moins qu'il ne soit très-rapproché du second fil, cet effet tombe dans la sphère de l'influence + du premier, et dans celle de l'influence — du dernier, et que par conséquent il n'y a pas d'induction produite. La figure 40 rend compte de ce qui se passe; *a*, représente le conducteur du courant primaire; *b*, celui du courant secondaire; *c*, le troisième conducteur. Les signes + + + commençant au milieu du premier conducteur et s'étendant jusqu'en bas, représentent l'influence constante + du cou-

rant, et les signes + o — — etc., commençant au second, indiquent que son influence inductive change avec la distance. Le troisième conducteur, comme on le voit dans la figure, tombe dans la région + du courant primaire et dans la région — du courant secondaire, et par là les deux actions se neutralisent l'une l'autre, il ne se produit pas de résultats apparents.

La figure 41 indique la disposition au moyen de laquelle on conçoit l'effet neutralisant dans le cas des courants secondaire et tertiaire. Le fil conduisant le courant secondaire est représenté par *b*; celui qui conduit le courant tertiaire par *c*, et l'autre fil pour recevoir l'induction par *d*. La direction de l'influence, comme avant, est indiquée par + o — — etc, on voit encore ici le troisième fil dans la région + d'un courant et dans la région moins dans l'autre Quand *d* est placé assez près de *c*, alors la neutralisation n'a pas lieu, et les deux courants tendent à y produire une induction dans la même direction.

Toutes les expériences qui viennent d'être rapportées se lient intimement avec les observations de M Savary concernant le magnétisme alternant que prennent des aiguilles d'acier placées à diverses distances de la ligne de décharge d'électricité ordinaire, et avec celles de M. Harris sur l'influence magnétique de tous les métaux servant d'écrans (1).

§ VI. *De l'induction des courants thermo-électriques.*

1398. Tous les courants électriques doivent produire des effets d'induction, c'est un fait qui est aujourd'hui bien établi; mais il restait à démontrer que les courants thermo-électriques jouissent également de cette propriété. Voici comment M. Zantedeschi l'a prouvé (2). Des fils de cuivre, entourés de soie, ont été enroulés dans

---

(1) Tom. III, p. 244 et t. II, p. 86.
(2) Bibl. univ., t. 15, p. 190.

des directions déterminées, autour de morceaux de métal cristallisé, et leurs extrémités mises en rapport avec un multiplicateur. On a plongé tantôt l'une, tantôt l'autre surface de chaque morceau de métal dans de l'eau à la température de 30 à 50°; l'aiguille aimantée, par sa déviation, annonçait la production d'un courant, dont le sens dépendait de la surface plongée et de l'état cristallin du morceau. Dans un morceau de bismuth qui avait six faces, et du poids d'un kil. M. Zantedeschi a obtenu sur quatre des surfaces opposées, prises deux à deux, deux courants dirigés en sens contraire, et dans les deux autres surfaces pareillement opposées, deux courants qui faisaient dévier l'aiguille du même côté. En présentant une arête à la source de chaleur et inclinant le morceau de métal plus d'un côté que de l'autre, il a obtenu dans la spirale des courants qui faisaient dévier l'aiguille tantôt à gauche, tantôt à droite. Dans un morceau d'antimoine semblable au précédent et d'un poids égal, il a eu sur quatre des faces des déviations de même côté, et sur les deux autres des déviations du côté opposé Avec des parallélipipèdes rectangles d'antimoine et de bismuth, on a trouvé sur les faces opposées des courants dirigés en sens inverse.

CHAPITRE VIII.

DU POUVOIR INDUCTEUR DES DIÉLECTRIQUES.

1399. Nous avons déjà parlé (1358, etc.) des effets d'induction produits par l'interposition de différentes substances entre les conducteurs parcourus par des courants électriques, mais nullement des effets qui s'exercent également à distance, entre deux corps dont l'un est électrisé et l'autre à l'état naturel, en ayant égard à l'influence de l'air ou d'autres corps intermédiaires.

M. Faraday a cherché quelle était cette influence, et si elle était nécessaire ou non pour que l'induction eût lieu. Les nombreuses recherches qu'il a faites à ce sujet l'ont conduit à admettre le principe général suivant :

Tous les moyens d'exciter la puissance électrique dans les corps, et même de faire naître des courants électriques, sont toujours précédés d'une action inductive. Pour établir ce principe, il a dû se livrer à une foule de recherches expérimentales qui sont toutes d'un haut intérêt et dont je vais faire connaître les principaux résultats.

On sait depuis longtemps que l'action inductive s'exerce dans un corps conducteur par un corps électrisé voisin, lors même qu'il se trouve entre eux d'autres corps mauvais conducteurs, tels que l'air, différents gaz, le verre, la gomme laque, etc., qui laissent passer librement l'action par influence. On admet donc que cette action s'exerce à distance, quel que soit le corps mauvais conducteur intermédiaire. Mais M. Faraday a prouvé

que l'induction a pour intermédiaires les diélectriques, ou corps isolants interposés, qui agissent chacun d'après la nature de leurs molécules. Pour trouver le pouvoir inducteur de ces corps, M. Faraday a fait usage des appareils suivants :

1° d'une balance de Coulomb qui a pour fil de torsion un fil de verre de 20 pouces de long, dont la finesse est telle que, muni de tous ses accessoires, le bras de levier fait 10 oscillations en une minute pour revenir dans sa position d'équilibre ordinaire. Son élasticité est suffisante pour que l'on puisse le tordre de quatre circonférences sans qu'il cesse de revenir dans sa position. La boule fixée au bras de levier est de sureau doré; son diamètre est d'environ $\frac{3}{10}$ de pouce. Deux bandes de feuilles d'étain, collées à la surface intérieure de la cage, l'entourent entièrement à la distance de $\frac{4}{10}$ de pouce l'un de l'autre. Ces bandes, mises en communication avec la terre, exercent une influence égale sur les boules électrisées. L'intérieur de la cage est desséché avec de la potasse fondue. Une boule de bois doré remplace le plan d'épreuve de Coulomb.

Avant chaque expérience, M. Faraday avait l'attention de s'assurer si les boules conservaient longtemps l'électricité qu'il leur avait donnée, et si elles pouvaient être déchargées complétement par le contact d'un corps conducteur non isolé;

2° d'un appareil destiné à étudier l'action inductive à travers divers milieux, dans des circonstances qui fussent toujours les mêmes, et disposé de manière à pouvoir mettre dans l'intérieur et à en retirer avec facilité les corps solides, liquides ou gazeux qu'on y avait introduits.

Cet appareil (fig. 42) se compose des parties suivantes :

a a sont les deux moitiés d'une sphère de cuivre superposées l'une sur l'autre en *b*, comme les hémisphères de Magdebourg. *c* est une pièce d'ajustage qui joint l'appareil à un robinet *d*, attaché à un pied métallique ou à une pompe à air. L'ouverture *f* est très-petite. *g* est

un cylindre de cuivre adapté à l'hémisphère supérieur, à travers lequel le récipient de la boule intérieure passe ainsi que sa tige *h* est une boule intérieure en cuivre, vissée à la tige de cuivre *i*, terminée au-dessus par une boule de cuivre B. *ll* est une masse de matière isolante servant à supporter et à isoler les boules *h* et B. Cette masse est traversée par la tige *i* qui soutient la boule *h*, et ne touche pas, autant que possible, la partie inférieure de la tige

La boule *h* a une ouverture en *n* destinée à introduire et à retirer les gaz à volonté La figure indique tous les accessoires à l'aide desquels chaque sphère peut être mise en communication avec le corps électrisé, séparée l'une de l'autre ou remplie de diverses substances

Toutes les fois que l'on opère avec des gaz acides ou alcalins, on enlève l'hémisphère supérieur et l'on nettoie avec soin l'appareil, que l'on peut considérer comme une bouteille de Leyde dont le corps isolant intermédiaire peut être changé à volonté.

1400. Passons aux expériences : on prend une bouteille de Leyde capable de donner une étincelle de 1 à 2 millimètres entre deux boules d'un diamètre de 1 centimètre. La boule de transport de la balance étant chargée avec cette bouteille, on l'introduit dans la balance et on la met en contact avec la boule mobile en tournant l'index. La boule est repoussée à une distance de 30° par exemple. On considère cette déviation comme représentant la répulsion des boules. Cela fait, l'appareil d'induction est chargé ensuite avec la bouteille de Leyde.

Un autre appareil d'induction semblable au précédent est placé ainsi que lui sur un support non isolant, à une distance telle qu'ils ne puissent s'influencer l'un l'autre; toutes les précautions sont prises pour éviter la déperdition de l'électricité. Enfin les appareils sont disposés de manière à pouvoir opérer toujours dans les mêmes circonstances. Nous verrons dans un instant l'usage qu'on peut en faire; mais auparavant, montrons comment l'induction peut s'établir en ligne courbe.

A cet effet, on prend un cylindre de gomme laque de deux centimètres de diamètre et de deux décimètres de longueur, que l'on fixe verticalement sur un pied de bois (fig. 43). On pratique à l'extrémité supérieure de ce cylindre une cavité destinée à recevoir une boule d'étain ou autre. La partie supérieure de la tige ayant été électrisée négativement avec une flanelle chaude, une boule de métal est placée sur le sommet, et l'on examine ensuite l'état électrique de l'appareil avec la boule de transport et la balance de Coulomb. Dans le premier instant du contact, la boule B et la boule de transport ne sont pas isolées, elles le sont ensuite, afin qu'il y ait une charge d'électricité. La boule de transport ayant été placée successivement, dans une expérience, aux points *a b c d*, elle a toujours pris de l'électricité positive, mais dans les proportions suivantes :

a au-dessus de........	1000°
b	149
c	270
d	512

Nous ferons remarquer, 1° que les charges de la boule B ainsi que celles de la boule de transport sont des charges par induction; 2° que les charges *a*, *c*, *d*, sont le résultat d'actions inductives en ligne droite, attendu la petitesse des arcs qui mesurent leur distance; 3° qu'il n'en est pas de même de la charge qu'on a obtenue en *b*, attendu qu'elle est le résultat d'une charge par induction en ligne courbe.

Maintenant, si l'on place la boule de transport en *e*, à une certaine distance de *b*, ne l'isolant pas d'abord, puis l'isolant ensuite, elle se charge encore d'électricité positive, mais à un degré plus elevé.

1401. On prouve de la manière suivante que l'induction ne peut agir à travers le métal : si l'on substitue à la boule B un petit disque de même métal, dans ce cas, la boule de transport peut être chargée au milieu, au-des-

sus du milieu de la surface supérieure : mais toutes les fois que la plaque a un pouce et demi ou deux pouces de diamètre (fig 44), la boule ne prend aucune charge en *f*, mais bien en *g* ou en *h*. Ces faits montrent bien que l'induction a lieu en ligne courbe, non à travers le métal, mais à travers l'air. Les effets sont encore les mêmes avec la boule B quand elle communique avec le sol au moyen d'un fil de métal

En opérant avec un hémisphère de cuivre (fig. 45), au lieu de la boule B, M Faraday a obtenu les résultats suivants qui sont intéressants

En *i* la force était de...........	112
En *k*	108
En *l*	65
En *m*	35

Il y avait donc diminution dans l'action inductive.

En *n* la charge allait jusqu'à.....	87
En *o*	105
Et en *p*.....................	98

On peut donc conclure de là, que l'action inductive s'exerce en ligne courbe comme en ligne droite, et que, dans les deux cas, l'effet doit être rapporté à l'action des particules contigues de l'air, mises dans un état de polarité suivant une direction dépendante de celle des forces agissantes.

Ces expériences répétées avec d'autres diélectriques, tels que le gaz acide carbonique, l'hydrogène, l'essence de térébenthine, la laque, le soufre, le borate de plomb fondu, ont donné les mêmes résultats. Avec le soufre, l'expérience a été faite de la manière suivante . une plaque carrée de soufre, façonnée en creux afin d'y placer la boule de transport, a été posée sur l'hémisphère métallique (fig. 47). Le plan d'épreuve, porté successivement en *nopq*, a donné des résultats qui indiquaient

encore l'action inductive en ligne courbe. M. Faraday a trouvé qu'en opérant avec des diélectriques solides, la quantité d'électricité prise successivement aux points *n o p q* est plus grande que celle qui est communiquée à la boule du même point, quand il n'y a que l'air d'interposé entre elle et l'hémisphère de métal.

1202. Étudions maintenant les effets de l'induction dans le verre, la laque, le soufre, au moyen de l'appareil (fig. 45), afin de pouvoir comparer les pouvoirs inducteurs de ces corps. Une coupe hémisphérique de laque fut d'abord placée dans l'intérieur, et le globe intérieur chargé de manière à donner 400° à la balance de Coulomb. En le déchargeant 15 minutes après, on lui enlevait en apparence toute son électricité; mais au bout de 10 minutes, il recouvrait une charge qui pouvait aller jusqu'à 50°, 60° et même 80°. Cet effet, qui se manifestait aux deux surfaces d'induction, dépendait de l'action exercée par l'électricité sur la laque, et était évidemment le résultat d'un résidu.

Pour s'en rendre compte, l'appareil fut chargé positivement au-dessus de 600°, pendant 45 minutes, aux boules A, B (fig. 42). L'appareil ayant été déchargé, la laque fut enlevée et examinée, la boule de transport fut placée près de la laque; en la tenant d'abord non isolée, puis l'isolant ensuite. Cette charge ayant lieu par induction, on devait avoir une électricité contraire à celle de la laque, si celle-ci en avait possédé. Il fut impossible dans les premiers instants d'en recueillir; mais peu à peu les deux surfaces prirent des états électriques opposés; la surface concave en contact avec la boule intérieure, chargée positivement, prit le même état, et la surface convexe, en contact avec l'armure négative, l'état négatif. Ces deux états augmentaient d'intensité graduellement pendant quelque temps. L'expérience fut recommencée en enlevant l'hémisphère supérieur, afin que la coupe ne fût plus en contact qu'avec l'hémisphère inférieur non isolé. La surface intérieure de cette coupe, essayée avec la boule de transport, donna cette fois de

l'électricité négative qui disparut rapidement et fut remplacée par de l'électricité positive dont la tension croissait graduellement pendant quelque temps.

Une coupe hémisphérique épaisse de flint-glass a présenté les mêmes effets, mais non au même degré, attendu que l'action de retour donnait des charges qui allaient de 6 à 18°, tandis qu'avec la laque les charges étaient plus fortes.

Le blanc de baleine, quoique isolant très-bien une faible charge pendant quelque temps, conduit mieux ensuite que la laque, le verre et le soufre

Avec une coupe de soufre, la charge de retour n'a été que de 17 à 18° Le verre et le soufre, corps très-mauvais conducteurs, sont ceux qui ont donné les charges de retour les plus faibles

En plaçant de l'air dans l'appareil d'induction, l'action de retour a été très-faible

Les effets précédents sont dus, comme on le sait depuis longtemps, à une pénétration de la charge dans le corps diélectrique, à chacune de ses deux surfaces, en vertu de son faible pouvoir conducteur.

1403 Il paraît qu'en général les forces électriques qui produisent l'induction ne se trouvent pas seulement sur les surfaces métalliques, mais encore sur et dans l'intérieur des diélectriques. Cela résulte évidemment de l'influence qu'exercent les diélectriques sur l'induction; l'expérience suivante vient confirmer cette conjecture.

Soit *c* (fig. 48) la section d'une plaque d'un diélectrique, *a* et *b* les armures métalliques, *b* non isolé et *a* chargé positivement. 10 ou 15 minutes après, si *a* et *b* sont déchargés, isolés et examinés aussitôt, on n'y trouve aucune charge d'électricité. Peu de temps après ils sont chargés, de la même espèce d'électricité, mais non au même degré

Supposons maintenant qu'une portion de l'électricité positive ait pénétré le diélectrique et se fixe en *p*. Une portion correspondante de la force négative prendra position en *n*; l'induction de ces deux forces sera plus

grande de l'une à l'autre, et moindre dans la direction extérieure, attendu qu'elles sont à une distance *n p* moindre que *a b* En déchargeant *a b* on détruit toute l'induction extérieure, et la boule de transport indique que les deux doublures ne sont pas électrisées; mais cette charge enlève aussi toutes les forces qui la poussaient dans l'intérieur. Cette force n'existant plus, la plus grande partie retourne sur les surfaces. Ces résultats montrent que les meilleurs isolants solides, comme la laque, le verre et le soufre, ont des propriétés conductrices qui permettent à l'électricité de les pénétrer, tout en étant soumis à la condition de l'induction; plus les corps sont de bons isolants, moins la charge sensible pénètre dans l'intérieur du diélectrique.

1404 Voyons maintenant comment on trouve le rapport entre le pouvoir inducteur de deux diélectriques. M Faraday, auquel on doit la méthode d'expérimentation à l'aide de laquelle on fait cette détermination, a commencé par opérer sur la laque et le soufre. Commençons par l'induction à travers la laque. Lorsqu'une portion de la surface d'une plaque épaisse de laque est excitée, il y a peu de différence sensible dans le caractère de l'induction produite par cette partie chargée, soit d'un côté dans l'air, soit dans la laque de la plaque, pourvu toutefois que la seconde surface n'ait pas été chargée préalablement. La laque et l'air ont d'abord été comparés ensemble : une coupe hémisphérique épaisse de laque a été placée dans l'hémisphère inférieur de l'un des appareils d'induction (fig. 42); puis on a laissé de l'air dans l'autre Ces appareils étaient tellement semblables qu'ils avaient le même pouvoir inducteur quand l'air était le diélectrique commun.

Appelons *l* l'appareil à l'hémisphère de laque, et *u* l'appareil rempli d'air. La charge primitive donnée à l'appareil rempli d'air ayant été partagée avec l'appareil de laque, on a eu :

App. à laque.	App. à air.
Écartement des boules 255°	
	0
	304
	297
Charge partagée.	
113	124
0 après la décharge.	7 après la décharge.

Interprétons maintenant ces résultats : 297—7 ou 290 est la charge divisible de l'appareil à air (7 représentant l'action de la tige fixée), dont la moitié est 145 ; mais l'appareil de laque a donné 113 pour le pouvoir de tension acquis après la division, tandis que l'appareil à air n'a retenu que 122—7 ou 114. Ces deux nombres sont à la vérité sensiblement égaux, mais ils diffèrent l'un et l'autre de 145 que l'on aurait dû obtenir si le pouvoir inducteur des deux appareils avait été le même, c'est-à-dire si l'on n'eût pas employé de l'air dans l'un et de la laque dans l'autre. Nous voyons par là que dans le partage, l'induction à travers l'air a perdu 176, tandis qu'à travers la laque elle n'a gagné que 113. En admettant que cette différence provienne uniquement de la plus grande facilité que possède la laque sur l'air de transmettre l'action inductive à travers sa substance, la capacité pour l'induction électrique sera en raison inverse de la perte respective et du gain ; la capacité de l'appareil étant 1, celle de l'appareil de laque sera 176 divisé par 113 ou 1,55. En répétant cette expérience un certain nombre de fois, et corrigeant les erreurs provenant de la perte d'électricité par diverses causes, on a obtenu successivement 1,47 ; 1,50 ; 1,55 ; 1,49, dont la

moyenne est 1,5 pour le pouvoir de l'appareil. La laque a donc un pouvoir supérieur à l'air pour produire l'induction.

Les expériences ont été recommencées avec la laque pure dissoute dans l'alcool très-fort, et la dissolution filtrée et évaporée : les effets ont été les mêmes. Ils ne sont pas dus évidemment à la conduction ordinaire, puisque les sphères électrisées primitivement ne perdent pas dans les expériences la quantité d'électricité qu'elles ont acquise. Le rapport 1, 5, quoiqu'il exprime la capacité d'induction de l'appareil qui contient l'hémisphère de laque, ne doit pas être considéré néanmoins comme représentant le rapport de la laque à l'air, attendu que la laque n'occupe que la moitié de l'espace *oo* de l'appareil, le reste étant rempli d'air. Si l'on écarte l'effet des deux parties supérieures des globes, alors le pouvoir de la laque dans la moitié inférieure est au pouvoir de l'air dans la moitié inférieure de l'autre, comme 2 est 1. Ce rapport même doit être au-dessous de la vérité, attendu que l'induction de la partie supérieure de l'appareil, c'est-à-dire du fil *i* de la boule B (fig. 42), sur les objets extérieurs, étant la même dans les deux cas, doit diminuer considérablement la différence provenant de l'influence de la laque à l'intérieur.

1405. M. Faraday a opéré ensuite avec une coupe hémisphérique épaisse de flint-glass semblable à celle de la laque, mais qui ne remplissait pas aussi bien l'espace *oo*, puisqu'il existait un espace vide de 0, 24 de pouce; avant d'être introduite dans l'appareil, elle fut recouverte d'une couche de laque. On a trouvé encore que le verre, comme la gomme laque, surpassait l'air dans son pouvoir de favoriser l'induction à travers sa propre substance. La moyenne des résultats obtenus, après les corrections faites, a donné 1, 38.

Or, 1, 38 étant l'expression de l'appareil du verre, la capacité spécifique d'induction sera supérieure à 1, 76, en se rappelant que cette valeur est pour un morceau de verre dont l'épaisseur n'occupe pas tout à fait les deux

tiers de l'espace dans lequel l'induction se soutient. Avec le soufre on a obtenu pour la capacité de l'appareil à air, comparée à celle de l'appareil de soufre, le rapport moyen 1 : 1,62; il en résulte que la capacité spécifique du soufre lui-même, comparée à celle de l'air, est égale ou un peu supérieure à 2, 24. Ce résultat est un des plus exacts qu'on ait obtenus.

La capacité spécifique d'induction du blanc de baleine paraît comprise entre 1,3 et 1,6. Les liquides qui sont meilleurs isolants, tels que l'essence de térébenthine, le naphte rectifié, soumis à l'expérience, ont donné encore une capacité spécifique supérieure à celle de l'air.

1406. M. Faraday a soumis aussi à l'expérience différents gaz, en commençant par l'air à diverses densités. L'un des appareils ayant été chargé, on a examiné successivement la tension de cette charge quand l'air intérieur était plus ou moins raréfié. On a trouvé, en commençant l'expérience avec une certaine charge, que celle-ci ne changeait pas de tension ou de force lorsque l'air était raréfié jusqu'au point où la décharge s'opérait à travers l'espace *o o*. Dans ce cas, la décharge était proportionnée à la raréfaction; et quand elle avait lieu et qu'elle abaissait la tension à un certain degré, ce degré n'était nullement affecté en rétablissant la pression et la densité de l'air telles qu'elles étaient au commencement de l'expérience. En effet :

Quantités.	Pouces de mercure.	Charges.
à une pression de......	30	..la charge était de 88°
»	30	 88
»	30	 87
réduite à	14	 87
élevée de nouveau à ...	30	 86
réduite encore à	3,4	 81
élevée à	30	 81

Avec une charge plus faible, et la pression de l'air dans l'appareil ayant été réduite à 1,9, on a eu une

ıarge de 29°; en faisant rentrer l'air jusqu'à ce que la 'ession fût de 30 pouces, la charge se maintint encore 29°.

L'oxigène s'est comporté de même. Ce résultat de non ıriation dans la tension électrique, à mesure que l'on minue la densité et la pression de l'air, s'accorde, mme nous le verrons plus loin, avec les observations ; M. Harris, qui a trouvé que l'induction est la même ıns l'air raréfié que dans l'air dense, et que la diver- 'nce des boules d'un électromètre pendant les varia- ɔns de la pression de l'air, continue à être la même, ourvu qu'il ne s'échappe pas d'électricité. L'effet pro- uit est donc indépendant du pouvoir que possède l'air 'nse de maintenir à la surface des conducteurs une ıarge plus forte que celle que peuvent retenir les mêmes ɔnducteurs dans l'air raréfié. Les résultats ont encore é les mêmes avec de l'air à zéro et de l'air dont la tem- érature a été portée de 50 à 200°.

L'air sec et l'air humide n'ont pas donné de diffé- 'nce dans les résultats.

Les gaz, bons isolants, excepté ceux qui agissent sur ı laque, tels que le chlore, l'ammoniaque et l'acide hy- rochlorique, ont été soumis à l'expérience après avoir é préalablement desséchés. On a trouvé que tous pos- ;dent le même pouvoir ou la même capacité pour main- 'nir l'induction en eux-mêmes. Les variations dans la ression ou la densité ne produisent non plus aucun effet.

Il paraît établi maintenant que dans tous les gaz l'in- uction a lieu par une action des particules contiguës, omme dans les corps solides.

M. Faraday a établi cette loi, en comparant deux à eux les gaz dont les noms suivent, afin qu'aucune dif- érence ne pût lui échapper :

Azote et..............	Oxigène.
Oxigène...............	Air.
Hydrogène............	Air.
Gaz acide muriatique....	Air.

Oxigène	Hydrogène.
Oxigène	Acide carbonique.
Oxigène	Gaz oléfiant.
Oxigène	Gaz nitreux.
Oxigène	Acide sulfureux.
Oxigène	Ammoniaque.
Hydrogène	Gaz oléfiant.
Hydrogène	Acide carbonique.
Hydrogène	Acide sulfureux.
Hydrogène	Acide fluo-silicique.
Hydrogène	Ammoniaque.
Hydrogène	Hydrogène arsénié.
Azote	Gaz oléfiant.
Azote	Gaz nitreux.
Azote	Ammoniaque.
Oxide de carbone	Acide carbonique.
Id.	Gaz oléfiant.
Oxide nitreux	Gaz nitreux.
Ammoniaque	Acide sulfureux.

Malgré les contrastes frappants qui existent entre les propriétés physiques et chimiques de ces gaz, tous, sans exception, n'ont pas donné la moindre différence dans leur capacité pour favoriser l'induction.

1407. Il pourrait se faire cependant que les gaz présentassent quelque différence dans leur capacité spécifique d'induction. Mais si cette différence existe, l'appareil dont on a fait usage n'a pu l'indiquer. D'après les faits que je viens d'exposer, l'induction, connue jadis sous le nom d'action par influence, paraît être une action de particules contigues du diélectrique ou corps isolant, par l'intermédiaire de laquelle les forces électriques sont transmises à distance. M. Faraday, en s'appuyant sur les expériences dont il vient d'enrichir la physique, assimile l'induction au mode de propagation du fluide électrique dans les corps conducteurs, avec cette différence capitale néanmoins, que, dans le premier cas, il n'y a pas transmission d'électricité d'une particule à une autre, tandis que, dans le second, cette transmission a lieu.

Nous ajouterons encore que l'induction n'exige pas ·paisseur sensible dans les corps conducteurs dont on t usage pour limiter son étendue, puisqu'une feuille or non isolée peut être rendue positive sur une surface, fortement négative sur l'autre, pendant que l'induc-n continue, tandis que dans les diélectriques leur aisseur a une influence immédiate et importante sur degré d'induction.

L'induction paraît donc consister comme je l'ai déjà , en un certain état de polarisation des particules des électriques, produit par le corps électrisé qui maintient ction ; état qui doit être forcé, parce qu'il n'est produit maintenu que par la force, et qui cesse dès l'instant o la cause qui lui a donné naissance n'existe plus. jouterai que lorsque cette force est supérieure à la ce d'agrégation ou aux affinités, les molécules sont rs séparées ou décomposées.

Le principe qui produit l'induction, comme j'ai déjà l'occasion de le faire remarquer, manifeste son action ns tous les phénomènes électriques : c'est lui qui consue la charge, qui préside au dégagement de l'électri-é et à la production des courants, etc. On voit donc l'on ne saurait donner trop d'attention à l'étude des iénomènes d'induction qui peuvent nous faire connaître ur influence sur les phénomènes électriques en général.

CHAPITRE IX.

DES CIRCONSTANCES QUI ACCOMPAGNENT LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE ENTRE DEUX CONDUCTEURS.

1408. M. Harris a fait une étude particulière des circonstances qui accompagnent la transmission de l'électricité, entre deux corps conducteurs, sous la forme de décharge, je vais rapporter les faits principaux qu'il a observés (1) et dont nous aurons besoin plus loin pour l'interprétation de divers phénomènes. Deux sphères étant en contact, en des points déterminés de position, si on les sépare à des distances données, on trouve que les quantités d'électricité respectives, qui sont nécessaires pour produire une décharge, varient en raison directe des distances Voici comment on le prouve : un électromètre de décharge (fig. 49) est disposé de manière à pouvoir obtenir facilement des distances données entre les points les plus rapprochés des sphères *c* et *c'*, au moyen d'une vis micrométrique *s*. Cet appareil est fixé à une bouteille de Leyde D, ayant une armure de 5 pieds. On peut évaluer très-exactement, au moyen du mesureur *u* (précédemment décrit), la quantité d'électricité nécessaire pour opérer une décharge à une distance donnée entre les boules *c* et *c'*. En opérant ainsi, on trouve que le nombre de mesures indiquées par la bouteille *u*, varie exactement avec les distances entre les points les plus

(1) Trans. phil. 1834.

rapprochés des boules c et c'. Il en est encore de même de la décharge de deux conducteurs chargés différemment, que l'on met en présence; or, si l'on compare ces résultats avec ceux que j'ai donnés dans les chap. V et VI de ce livre, on voit que, tandis que les distances de décharge entre deux points augmentent dans le simple rapport de la quantité, les forces attractives augmentent comme le carré de cette quantité.

M. Harris a trouvé qu'en général la distance de décharge est dans un rapport simple avec la quantité d'électricité contenue sur une surface de communication qui est toujours la même. Dès lors, la distance à laquelle de l'électricité accumulée peut se décharger dans l'air d'une densité donnée, peut servir à mesurer exactement la quantité comparative d'électricité accumulée sur une surface, ou sa tension.

Si l'on prend pour unité la force développée entre les deux points c et c', au moment de la décharge, et que l'on place les boules avec la même accumulation à une distance double, la force est réduite au quart, puisqu'elle varie en raison inverse du carré de la distance. La décharge ne saurait donc avoir lieu à cette distance, mais des accumulations doubles, triples, etc., développent des quantités libres ou des intensités qui sont comme les carrés de toute la quantité accumulée; on a donc, avec des quantités accumulées doubles, triples, etc., des forces attractives qui compensent exactement le décroissement de la force, en raison de l'accroissement de distance. Ainsi, avec des accumulations doubles, triples, la force est précisément la même; elle est donc suffisante dans chaque cas pour vaincre la pression atmosphérique, à chaque distance donnée.

1409. M. Harris infère de ses recherches, que la résistance de l'atmosphère, au passage de l'électricité, n'est pas réellement plus grande à travers une distance de décharge qu'à travers une autre, et n'est jamais plus forte que la pression de l'air.

1410. Pour connaître l'influence qu'exercent sur la dé-

charge les variations de densité et de température de l'air, on opère comme il suit : on met en rapport un électro-thermomètre avec l'électromètre de décharge (fig. 50) ; l'électro-thermomètre se compose d'une petite sphère de verre N, traversée par le fil de décharge, et en communication directe avec un thermomètre T. Les effets de quantités d'électricité déchargées à travers le fil sont observés avec soin, comme il a été dit précédemment. Le circuit *m n f r i d c n* varie avec l'étendue et la nature de la substance dans la portion *i d*. Quelques essais ont montré que l'effet dans le fil décroît dans un rapport inverse de la résistance à la transmission de l'électricité accumulée ; ainsi l'effet est moindre avec un long circuit qu'avec un circuit plus court, et quand le circuit est composé de conducteurs imparfaits, comme le bois ou l'eau contenue dans un tube de verre, l'instrument est à peine affecté.

En employant de longs circuits de fils métalliques, l'effet varie dans un rapport inverse de la longueur. Ainsi avec un fil de cuivre isolé, de 300 pieds, la transmission d'une quantité donnée à travers l'électromètre N, élève la température de 10 degrés, avec un circuit de 600 pieds, la résistance est telle, qu'elle ne s'élève que de 5 à 6° ; avec 900 pieds, de 3° seulement.

1411. Pour déterminer le genre de résistance que fait éprouver un milieu non conducteur, comme l'air, on dispose l'appareil comme il suit : une bouteille de Leyde E (fig. 50 bis) est mise en rapport avec les boules de décharge *c c'*, placées dans le ballon R, la distance entre ces boules est mesurée au moyen d'un micromètre *p*. Le vide peut être fait dans le ballon qui est muni d'un thermomètre R et d'une éprouvette *g*. Une enveloppe (fig. 51), munie d'une lampe D, permet d'élever à volonté la température. Ayant chargé d'une quantité donnée la bouteille E, on opère la décharge entre *c* et *c'*. Voici les résultats que M. Harris a obtenus :

1° Les quantités respectives, nécessaires pour traverser un intervalle donné, varient dans un simple rapport

avec la densité de l'air. Quand la densité est moitié, la décharge a lieu avec la moitié de la quantité accumulée, c'est-à-dire, avec un quart de l'intensité ou action libre.

2° La distance à travers laquelle peut se décharger une accumulation donnée est dans le simple rapport inverse de la densité de l'air. Par conséquent, dans l'air d'une densité moitié moindre, la décharge a lieu à une distance double.

En diminuant la densité et augmentant la distance entre les points de décharge, l'étincelle électrique approche de plus en plus de l'état d'une flamme à lumière diffuse sans être accompagnée d'aucun bruit. Cet effet a lieu aussi quand la distance entre les points de décharge étant la même, la quantité accumulée diminue continuellement. Lorsqu'on fait varier la température de l'air contenu dans le ballon, duquel il ne peut s'échapper, on trouve que la chaleur est sans effet pour modifier le pouvoir isolant de l'air, ce pouvoir, comme M. Faraday l'a trouvé depuis, est donc tout à fait indépendant de sa température et ne dépend que de sa densité. M. Harris conclut enfin des expériences qu'il a faites, 1° que l'air échauffé n'est pas, comme on l'a dit souvent, un conducteur de l'électricité, et que la chaleur ne facilite sa transmission qu'en diminuant sa densité, 2° qu'en supposant que la chaleur soit matérielle, elle serait un non conducteur de l'électricité, attendu que l'incorporation d'une substance conductrice avec une substance qui ne l'est pas, affaiblit le pouvoir isolant de la dernière, comme dans le cas de l'air chargé de vapeur; tandis que dans l'union intime de deux corps non conducteurs le pouvoir isolant reste parfait.

On peut expliquer maintenant le fait annoncé par le docteur Ritchie (1), contrairement à ce que Davy avait trouvé, savoir : que la chaleur n'affaiblit pas le pouvoir conducteur des métaux.

(1) Trans. philos. 1828, p. 37.

L'expérience principale de ce physicien consiste dans la transmission de l'électricité ordinaire à travers une tige de fer fourchue, dont l'une des branches est chauffée au rouge, il trouve alors que l'électricité passe plutôt par le côté chauffé que par le côté froid. Mais ce résultat ne peut démontrer la supériorité du pouvoir conducteur du fer échauffé, aussi longtemps que l'expérience est faite dans l'air, attendu que l'air raréfié par la chaleur perd à un degré plus ou moins fort son pouvoir restrictif. De plus, l'air en contact immédiat avec une tige de fer chauffé au rouge, est dans un grand état de raréfaction; dans ce cas, l'affaiblissement du pouvoir conducteur du métal est plus que compensé par la diminution de résistance à sa surface, de sorte que le pouvoir conducteur du métal, ainsi que la grande diminution de la densité de l'air d'un côté, peut encore offrir un passage plus facile à l'électricité que le pouvoir conducteur du métal seul.

1412. M. Harris, en étudiant la distribution de l'électricité sur des corps de diverses formes, a trouvé que la plus grande intensité d'une quantité donnée d'électricité, distribuée sur une aire donnée, se montre quand l'aire est contenue dans un cercle, et que l'intensité est moindre quand elle se répand sur une ligne droite indéfinie, que les intensités des conducteurs sont en raison inverse de leurs périmètres, quand la pression de l'air est constante. L'intensité ne varie pas dans un rapport inverse du carré de la surface, si ce n'est lorsque ces aires sont tellement disposées, que tout le périmètre des diverses plaques est comme les surfaces respectives; résultat qui s'applique aussi aux conducteurs cylindriques, les capacités électriques de ceux-ci étant les mêmes que les aires planes, dans lesquelles on peut supposer qu'elles se développent.

1413. Si l'on passe à l'intensité de l'accumulation induite, on trouve qu'elle n'est pas soumise à la même loi que celle qui a été observée dans un des corps électrisés d'une manière permanente. La force, dans un cas, est

comme l'accumulation induite simplement; dans l'autre, comme le carré de la quantité communiquée. La cause de cette différence peut être attribuée à une différence dans la nature des accumulations respectives.

Voici encore d'autres conséquences auxquelles M. Harris a été conduit dans ses recherches :

1° La force attractive produite entre un conducteur électrisé et un conducteur neutre non isolé, n'est nullement influencée par la forme et la disposition des parties non opposées. La force est précisément la même, que les corps opposés soient simplement des plans circulaires, ou des hémisphères, des cônes, etc ; deux hémisphères s'attirent l'un l'autre avec la même force que les sphères ;

2° La force est en rapport avec le nombre des points d'attraction dans l'action, et en rapport inverse des carrés des distances respectives ;

3° La force attractive, entre deux aires inégales circulaires, n'est pas plus grande qu'entre deux aires semblables, chacune étant égale à celle qui est moindre ;

4° La force attractive d'un simple anneau et d'une aire circulaire l'un sur l'autre, n'est pas plus grande qu'entre deux anneaux semblables ;

5° La force entre une sphère et un segment sphérique opposé, de la même courbure, n'est pas plus grande que celle de deux segments semblables, égaux chacun au segment donné. Ainsi l'attraction entre la sphère *m* et le segment non isolé *n* (fig. 52) est la même que celle des segments semblables et égaux *n n'*.

Les faits observés permettent de considérer la force attractive développée entre une sphère chargée et une sphère neutre de diamètres égaux, comme étant le résultat d'un système de forces parallèles agissant en lignes droites entre les points analogues des hémisphères opposés.

Il est démontré en outre que la résistance de l'air au passage de l'électricité est en raison directe du carré de la densité, de sorte qu'une quantité donnée ayant une intensité aussi donnée et prête à se décharger, restera

avec le même état relatif dans l'air, dont la densité est moitié moindre, si l'on double la distance entre les points de décharge. Par conséquent, si la densité de l'air est diminuée d'une manière indéfinie, et que la distance entre les points d'action soit indéfiniment augmentée, le même état électrique relatif se continuera sans qu'il y ait dispersion; de sorte que si l'on suppose que le corps opposé devient nul, alors l'électricité accumulée ne tend pas du tout à quitter le corps électrisé, en supposant qu'il n'éprouve l'influence d'aucune autre substance. Cette conjecture, du reste, est justifiée par les effets des actions électriques dans le vide dont j'ai déjà parlé. On doit encore à M. Harris quelques observations importantes dont voici l'énoncé :

1414. Des décharges d'électricité ordinaire se transmettent plus facilement à la surface des corps, dans un milieu épuisé, que les courants voltaïques, ces derniers exigeant un isolement comparativement plus faible. Il est difficile, en effet, de fondre un fil fin par l'électricité ordinaire dans un réceptacle très-épuisé, tandis que l'électricité voltaïque l'échauffe bientôt jusqu'au rouge. M. Harris a fait passer la décharge d'une batterie armée, de 25 pieds carrés, dans un fil fin de fer renfermé dans un réservoir bien épuisé, sans que ce fil en fût affecté. L'électricité surabondante paraissait trouver un passage plus facile à travers l'air raréfié de sa surface, ce qui produisait un effet très-brillant. En laissant rentrer l'air, le fil était aussitôt fondu, en n'employant seulement que 5 pieds carrés de revêtement.

Comme on l'avait fait avant lui, il a transmis, au moyen d'une machine électrique très-puissante, des rayons électriques continus dans de longs tubes épuisés, d'environ 4 pouces de diamètre et de 6 pieds de long. Les extrémités des tubes étaient fixées et bouchées hermétiquement sur des plaques de cuivre, munies chacune d'une pointe armée. En épuisant modérément l'air et les plaques mises en contact avec les conducteurs positifs et négatifs de la machine, on obtenait des rayons lumineux

se ramifiant sur les parois du tube vers la plaque négative (fig. 53 et 54).

Plus l'épuisement était complet, plus la distribution des branches devenait moindre, et à la fin toute la surface intérieure était couverte d'une masse continue de lumière blanche.

Dans aucun cas, l'électricité ne paraissait transmise à travers l'espace intermédiaire, si ce n'est lorsqu'elle glissait des pointes sur les parois du tube.

Les observations de M. Harris, sur le pouvoir conducteur des corps, l'ont mis à même d'émettre l'opinion que le vide absolu ne peut posséder des propriétés conductives ou isolantes, attendu qu'il ne doit être qu'une simple condition passive dans laquelle on suppose une substance placée. Il résulte de là que le vide absolu ne peut posséder des propriétés conductrices.

Une force attractive, quelque petite qu'elle soit, développée dans le vide entre deux corps, devrait livrer passage au courant électrique à travers une distance même assez grande, seulement il est probable qu'il n'y aurait pas de lumière électrique produite.

J'ai déjà discuté assez longuement, dans cet ouvrage, le pouvoir conducteur du vide, pour y revenir; je me borne à faire connaître l'opinion de M. Harris, qui doit être prise en considération par les physiciens, attendu qu'elle repose sur des faits d'un grand intérêt.

CHAPITRE X.

DES RAPPORTS ENTRE L'INDUCTION, LA CONDUCTION ET LES DIVERSES CHARGES ÉLECTRIQUES

1415. Guidé par les idées précédemment exposées, M. Faraday a cherché à établir la dépendance qui existe entre l'induction, la conduction et les diverses décharges électriques qui produisent les décompositions chimiques, les étincelles, etc.

Il existe, comme on le sait, trois espèces de décharges électriques, que je vais passer rapidement en revue, savoir : la conduction ou décharge conductive qui ne développe ni action chimique, ni déplacement apparent de particules ; la décharge électro-chimique ou électrolytique qui produit un déplacement de particules, et la décharge qui s'opère par des étincelles ou des effets dont il va être question. Cette dernière décharge, en raison du violent déplacement des particules du diélectrique, a été appelée par M. Faraday décharge de rupture. On peut en admettre encore une quatrième, la décharge de transport, qui s'opère au moyen du transport des particules des corps solides, liquides ou gazeux, qui se trouvent sur le passage de l'électricité. Ces quatre modes de décharges sont liés évidemment ensemble par l'induction, comme il est facile de s'en convaincre par le simple exposé des faits.

§ Ier. *Conduction ou décharge conductive.*

1416. L'induction et la conduction ne sont que des

degrés extrêmes d'une condition commune, puisque l'une précède l'autre. Le blanc de baleine, par exemple, a une capacité inductive, représentée par 1,8 ou au-dessus; mais il a cependant un pouvoir conducteur, faible à la vérité, qu'on peut suivre pour ainsi dire pas à pas dans sa masse Quand le fluide électrique a traversé cette substance jusqu'à une certaine profondeur, on peut, en faisant disparaître la force inductive, le faire retourner sur sa route et le montrer là où on l'avait d'abord appliqué L'induction, comme on le sait depuis longtemps, est donc un préliminaire nécessaire à la conduction.

Le verre et la laque présentent des effets semblables, mais non au même degré, attendu que la conduction y est très-faible

La glace ou l'eau gelée, qui est un corps isolant, est un meilleur conducteur que le blanc de baleine. Aussi les phénomènes d'induction et d'isolement disparaissent-ils rapidement, attendu que la conduction suit l'isolement.

1417 L'isolement et la conduction ne peuvent être séparés, ils se montrent toujours ensemble, comme on le voit, même dans les corps conducteurs; car la résistance qu'opposent les métaux au passage de l'électricité peut être considérée comme l'effet d'un pouvoir isolant. Ce pouvoir a été mis en évidence dans les expériences de M. Wheastone, qui a montré que le temps entre comme un élément dans la conduction des métaux (1).

Il a trouvé effectivement qu'en opérant la décharge dans un fil de cuivre de 2640 pieds de long et de $\frac{1}{15}$ de pouce de diamètre, si l'on observe en même temps les étincelles lumineuses à chaque bout du fil et au milieu, quand il est interrompu, on voit alors que les dernières se produisent avant les premières On ne peut douter que ce retard ne soit du même genre, mais à un degré bien moindre que celui que l'on observe dans le blanc de baleine, la laque ou le soufre.

(1) Trans philos. 1834, page 583.

Si dans l'expérience précédente on conserve une portion du milieu, et les deux parties extrêmes du fil de cuivre, puis, qu'on remplace les parties intermédiaires par des fils de fer et de platine, l'étincelle du milieu sera plus retardée qu'auparavant. En mettant à la place du fer un tube de verre de même diamètre, rempli d'eau, le retard sera encore plus grand. Il le sera encore davantage, en mettant à la place de l'eau du blanc de baleine. On voit donc que l'on peut augmenter le retard en employant des substances qui conduisent de plus en plus mal l'électricité. Tous ces effets permettent de suivre l'isolement depuis les corps mauvais conducteurs jusqu'aux métaux, pendant tout le temps que s'opère la décharge. Je dois faire remarquer en outre que toutes les forces ne sont pas dans le fil, dans le diélectrique, il en existe encore qui sont dues à l'induction. Si c'est l'air qui est le diélectrique, l'induction passe du fil dans les corps environnants par son intermédiaire, jusqu'à ce que la décharge soit effectuée. L'expérience suivante de M. Harris, dont j'ai déjà parlé, ne laisse aucun doute à cet égard. Si l'on tend un fil de platine dans un petit tube de verre, dans lequel on a raréfié l'air, et que l'on fasse passer une décharge à travers ce fil, il s'écoule autant d'électricité sinon plus, dans l'air que dans le fil. Pour expliquer ce fait, il faut admettre que la décharge est précédée d'une induction qui est d'autant plus forte que l'air est plus condensé. D'après cela, la rapidité de la décharge doit varier avec la charge et l'induction.

On voit donc que le premier effet d'un corps électrisé, sur les corps environnants, est de constituer les particules contiguës de ces derniers dans un état polarisé qui constitue l'induction.

Quand les particules contiguës polarisées ont le pouvoir de communiquer leurs forces, la conduction a lieu et la tension diminue. La conduction est donc une véritable décharge entre les particules voisines. Aussi, plus l'état de tension entre les particules est faible, plus le corps est bon conducteur.

1418. La chaleur exerce une grande influence sur la conduction, cependant elle n'affecte pas sensiblement, comme M. Harris l'a observé, celle des corps gazeux ou au moins l'air, tandis qu'elle diminue le pouvoir conducteur des métaux. D'un autre côté, il existe des corps, comme le sulfure d'argent et le fluorure de plomb, dont la chaleur augmente le pouvoir conducteur. Un morceau de cette dernière substance, fondue et refroidie, arrête le courant voltaïque, tandis que, chauffée, elle acquiert la conduction avant d'arriver à la chaleur rouge visible. On peut même en retirer des étincelles pendant qu'elle est encore solide. Aucune trace de décomposition ne se manifeste alors pendant le passage de l'électricité, celles qui se montrent paraissent être dues à l'humidité de l'air. Le periodure de mercure et le deutochlorure sont probablement dans ce cas.

§ II. *Décharge électrolytique.*

1419. La manière dont M. Faraday envisage la décharge électrolytique, ou la décomposition électro-chimique, a la plus grande analogie avec la théorie de Grothuss. Je vais indiquer les considérations à l'aide desquelles ce célèbre physicien est parvenu à établir ses vues à cet égard. Si l'on prend un long tube de verre étroit, rempli d'eau distillée, dans laquelle plongent les deux électrodes, on a des indications de la tension électrique qu'acquièrent les électrodes, par l'action inductive à travers l'eau servant de diélectrique, puisqu'on peut obtenir des étincelles. L'eau se trouve alors dans la condition d'un corps mauvais conducteur et mauvais isolant. Si elle isole, c'est en vertu de l'action inductive qui précède la décharge.

Si nous passons à la décharge électrique, à l'instant où les particules de l'eau sont polarisées, la décharge de particule à particule n'est plus, comme dans la conduction, un simple échange des pouvoirs qu'elles ont acquis par l'induction, mais bien une séparation de ces mêmes

particules qui s'opère de la manière suivante : les particules d'oxigène marchent dans une direction, en emportant avec elles la somme des forces qu'elles ont acquises pendant la polarisation ; les particules d'hydrogène se comportent de même dans une autre direction. Ce mouvement se continue jusqu'à ce que chaque particule rencontre la particule la plus rapprochée qui est dans le même état électrique que celles qu'elle a quittées. La réunion successive des forces mises en jeu constitue la décharge électrolytique, laquelle dépend nécessairement de la non conduction du diélectrique intermédiaire L'opération se compose donc de deux actes parfaitement distincts . l'induction et le transport L'expérience suivante montre bien la condition des particules polarisées dans un diélectrique soumis à l'induction : si l'on met dans un vase de verre de l'essence de térébenthine rectifiée et bien claire, et qu'on y introduise deux fils terminés en boule ou en pointe, et passant à travers des tubes de verre, puis, que l'on répande dans le liquide de petits morceaux de fils de soie blanche, bien secs; si l'on électrise alors un des fils de métal avec une machine ordinaire, et que l'autre opère la décharge, la soie se réunit immédiatement et forme une bande de particules allant d'un fil à l'autre; si l'on cesse d'électriser, la bande disparaît, et les parties se dispersent de tous côtés. Avant l'interruption du courant, si l'on touche les parcelles avec une baguette de verre, on voit qu'elles adhèrent entre elles. L'adhésion, dans ce cas, est due à la polarité qu'acquiert chaque filament, polarité qui représente celle des molécules du diélectrique lui-même, pendant le passage du courant. Il faut remarquer que des électrolytiques ou des diélectriques différents exigent des intensités électriques initiales non égales pour leur décomposition. Cela peut dépendre du degré de polarisation que les particules exigent avant de commencer la décharge électrolytique. Ce degré est en rapport direct avec l'affinité chimique des substances employées, et probablement avec la capacité spécifique inductive des différents corps.

1420. Considérons maintenant le pouvoir conducteur électrolytique, ou la décharge par l'addition de substances aux diélectriques employés. Les acides sulfurique, phosphorique, oxalique et nitrique, augmentent, comme on sait, considérablement le pouvoir conducteur de l'eau, tandis que les acides tartrique et citrique n'augmentent que faiblement ce pouvoir; et d'autres, comme les acides acétique et borique, ne produisent pas de changement sensible.

De même, l'ammoniaque est sans effet, pendant que son carbonate, les alcalis caustiques et leur carbonate produisent un effet remarquable, ainsi que les sulfates de soude, le nitre et plusieurs autres sels solubles. Le percyanure de mercure et le sublimé corrosif n'en produisent aucun, de même que l'iode, la gomme et le sucre

D'un autre côté, dans plusieurs cas, la substance ajoutée éprouve une action directe ou indirecte, et alors les phénomènes deviennent plus compliqués. Nous citerons particulièrement l'acide hydrochlorique, les protochlorures solubles, les iodures et l'acide nitrique, etc

Dans d'autres cas, la substance ajoutée, quand elle n'est pas seule, n'est pas soumise au pouvoir de la batterie voltaique, tandis que, lorsqu'elle est associée à l'eau, elle communique et reçoit les pouvoirs Tels sont l'acide sulfureux, l'iode et le brôme, le chlorure d'arsenic, et probablement l'acide sulfurique et l'acide phosphorique

Tous ces effets dépendent des relations qui existent entre les affinités en vertu desquelles les éléments de ces corps sont réunis, et les forces électriques auxquelles ces mêmes éléments sont soumis, relations qui, dans l'état actuel de la science, ne peuvent être déterminées *à priori* Il faut donc en appeler à l'expérience, pour résoudre la question dans chaque cas particulier.

§ III. *Décharge de rupture.*

1421. M. Faraday appelle ainsi, comme je l'ai déjà dit, la

décharge qui a lieu sous la forme d'étincelle, d'aigrette et de lueur. L'étincelle ne se montre qu'autant qu'il y a un diélectrique placé entre les deux corps chargés d'électricité contraire; en diminuant la densité du diélectrique, on a la lueur. Les effets qui précèdent dans le diélectrique sont des effets d'induction, dont l'intensité, immédiatement avant que l'étincelle éclate, est la limite de l'influence que le diélectrique développe pour résister à la décharge. C'est donc une mesure du pouvoir conservateur du diélectrique. M. Harris est un des physiciens qui ont examiné avec le plus de soin les circonstances qui limitent cette action dans l'air. Il a reconnu (p. 123) que la quantité d'électricité varie exactement avec la distance entre les balles ou entre les points de décharge, c'est-à-dire, qu'il faut une quantité d'électricité double pour une distance double, qu'en faisant varier la pression ou la densité de l'air, les quantités d'électricité nécessaires pour produire la décharge à travers un intervalle constant varient exactement avec la densité de l'air.

Si la quantité reste la même tandis qu'on fait varier l'intervalle et la densité de l'air, on trouve que celle-ci est dans un rapport inverse avec l'autre, c'est-à-dire, que la même quantité passe à une distance double quand l'air est raréfié de moitié

1422. Les variations de température dans l'air ne produisent non plus aucun changement dans la quantité d'électricité nécessaire pour opérer une décharge dans un espace donné.

M. Faraday admet que la décharge a lieu probablement, non quand toutes les particules ont atteint un certain degré de tension, mais quand la particule qui est la plus affectée a été exaltée au point d'être intervertie. Car, bien que toutes les particules qui se trouvent sur la ligne d'induction résistent à la charge et soient associées dans leurs actions, de manière à donner une somme de forces résistantes, néanmoins, quand il y en a une de déplacée hors de la direction, toutes doivent ouvrir la route, comme dans le cas d'une étincelle entre deux balles.

1423 La manière dont M. Faraday envisage l'induction en général, et en particulier dans les diverses décharges, a l'avantage de soumettre à la loi de continuité les actions électriques à distance, que l'on considérait, avant lui, comme s'exerçant indépendamment du diélectrique qui sépare les corps. Je sais qu'on peut lui objecter qu'il ne fait que reculer la difficulté, attendu que les molécules des corps n'étant pas juxtaposées, il existe entre elles des vides qui doivent transmettre les actions par influence, comme pourraient le faire les intervalles qui séparent les corps. Mais ce qu'il y a de réel dans la théorie de M. Faraday, c'est que les diélectriques exercent réellement une influence sur les actions à distance, et que c'est par leur intermédiaire qu'elles s'opèrent

Voici l'appareil dont M. Faraday a fait usage pour déterminer le pouvoir conservateur d'un diélectrique comparé à celui de l'air :

a est un vase de verre (fig 55) fermé au sommet et au fond, au moyen de deux plaques de cuivre *b*, *c*; *b* porte une boîte garnie avec une tige métallique glissante, terminée en bas par une petite boule de cuivre *s*, et au-dessus par un anneau. La plaque inférieure est placée sur un tube reposant sur un pied et muni d'une douille et d'un robinet d'arrêt *f*; une boule de cuivre *l* est fixée sur la plaque inférieure, le verre du vase est recouvert d'une couche de vernis à la gomme laque. Au moyen du tube on peut faire le vide dans l'intérieur et y introduire des gaz. L'autre partie de l'appareil consiste en deux supports isolants *h*, *i*, auxquels sont attachées deux boules de cuivre à travers lesquelles passent des baguettes mobiles *m*, *k*, terminées par des balles de cuivre. *n* est l'extrémité d'un conducteur isolé qui reçoit de l'électricité positive ou négative d'une machine. *p* et *o* sont deux fils de communication *q* est un fil de métal qui, unissant les pieds, communique avec un appareil de décharge. Au moyen de cet arrangement, la décharge peut passer entre *s* et *l* ou entre S et L, à une distance fixe, selon qu'elle trouve plus de facilité à franchir l'intervalle *v*

que l'intervalle *u*. On introduit successivement un gaz dans le vase, et l'on cherche à balancer la décharge en un endroit avec celle qui s'opère dans l'autre; mais quand l'intervalle *u* est assez petit, toute la décharge peut y passer. En le faisant assez grand, la décharge a lieu en *v*. Quand le pouvoir résistant est le même en *u* qu'en *v*, la décharge a lieu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre; dès lors, en prenant une distance fixe, par exemple celle de *u*, on peut comparer le pouvoir résistant ou isolant de l'air au pouvoir résistant d'un autre gaz. Voici les dimensions des boules avec lesquelles M. Faraday a expérimenté :

La boule	*s*	0,93 de pouce
	S	0,96
	l	2,02
	L	1,95

L'intervalle *v* était constamment égal à 0,62. Les boules *s* et S pouvaient être rendues positives ou négatives, en faisant communiquer le conducteur *u* avec l'un des conducteurs de la machine donnant les deux électricités. Il a trouvé que les gaz diffèrent les uns des autres, relativement aux effets produits. Voici les effets qu'il a obtenus en notant l'intervalle le plus petit, le plus grand et le moyen en *u* dans l'air; intervalle qui n'est jamais constant, attendu que la décharge a lieu, quand on est à la limite, en vertu de causes souvent bien légères qui échappent à un examen attentif.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus; les intervalles sont exprimés en fractions de pouce :

	Plus grande distance	Plus petite distance	Moyenne
air *s* et S pos.	0,60	0,79	0,695
id *s* et S nég.	0,59	0,68	0,635
oxigène *s* et S pos.	0,41	0,60	0,505
id. *s* et S nég.	0,50	0,52	0,510
azote *s* et S pos.	0,55	0,68	0,615
id *s* et S nég.	0,59	0,70	0,645

	Plus grande distance	Plus petite distance	Moyenne
hydrogène *s* et S pos.	0,30	0,44	0,370
id *s* et S nég.	0,25	0,30	0,1275
acide carbonique *s* et S pos.	0,56	0,72	0,640
id. *s* et S nég	0,58	0,60	0,590
gaz oléfiant *s* et S pos.	0,64	0,86	0,750
id *s* et S nég.	0,69	0,77	0,730
gaz de charbon *s* et S pos.	0,37	0,61	0,490
id. *s* et S nég	0,47	0,58	0,725
gaz acide muriatique *s* et S pos	0,89	1,32	1,105
id *s* et S nég	0,67	0,75	0,720

Les expériences répétées dans diverses circonstances ont donné en général des résultats semblables quant à l'ordre, mais non précisément quant aux nombres. Ainsi, dans une autre série, on a obtenu :

hydrogène *s* et S pos.	0,23	0,57	0,400
gaz acide carbonique *s* et S pos.	0,51	1,05	0,780
gaz oléfiant *s* et S pos.	0,66	1,27	1,965

Lorsque les étincelles avaient lieu entre les boules dans l'air libre, il arrivait souvent qu'elles n'étaient pas droites et qu'elles suivaient une autre route que la distance la plus courte En outre, quand elles avaient passé à l'un ou l'autre intervalle, elles avaient généralement une tendance à se reproduire au même intervalle, comme si les particules de l'air avaient été prédisposées pour laisser passer les étincelles. Aussi, en continuant à manœuvrer la machine rapidement, les étincelles se suivaient généralement à la même distance. Cet effet est peut-être dû soit à la chaleur de l'air échauffé par le passage de l'étincelle précédente, soit à la poussière qui voltige, soit à quelque chose d'inaperçu dans les décharges. En étudiant les résultats consignés dans le tableau précédent, on voit qu'il y a une différence très-remarquable, et qui est constante dans la direction de la décharge, quand l'électricité communiquée aux balles *s* et S change de signe, on voit que le rang de la variation est toujours

plus grand quand les petites balles sont positives que lorsqu'elles sont négatives; c'est ce qu'indiquent les résultats suivants, en prenant la différence entre la plus grande et la plus petite valeur :

	positif	négatif
Dans l'air le rang......	0,19	0,09
oxigène..............	0,19	0,02
azote................	0,13	0,11
hydrogène	0,14	0,05
acide carbonique.......	0,16	0,02
gaz oléfiant...........	0,22	0,08
gaz de charbon.... ..	0,24	0,12
acide muriatique.......	0,43	0,08

Plus loin je mettrai mieux en évidence la propriété des petites et des grandes boules pour faciliter ou s'opposer à la décharge selon qu'elles sont positives ou négatives.

1424 D'après ce que j'ai dit précédemment, on conçoit parfaitement que l'on puisse prendre l'intervalle moyen pour la mesure du pouvoir isolant des gaz Les résultats obtenus présentent de grandes différences · ainsi sous la même pression et les petites balles étant chargées positivement, le gaz acide hydrochlorique a trois fois le pouvoir isolant du gaz hydrogène, et presque le double de l'oxigène, de l'azote et de l'air. Les différences obtenues ne peuvent être attribuées à la densité; car, quoique l'hydrogène soit inférieur à l'oxigène, celui-ci est bien au-dessus de l'azote et du gaz oléfiant, et du gaz acide carbonique; quoique bien plus pesant que le gaz oléfiant ou le gaz muriatique, il est inférieur à l'un ou à l'autre.

D'un autre côté, M. Harris a observé qu'en raréfiant l'air aux deux tiers de sa densité ordinaire, il a les mêmes pouvoirs isolants que l'oxigène, quoiqu'il n'ait ni la même densité ni la même pression.

Les différences observées dans les pouvoirs isolants du gaz dépendent donc de leur nature, et non de quel-

ques-unes de leurs propriétés physiques, comme on le croyait jadis.

Si l'on examine encore l'avant-dernier tableau, on trouve que les séries positives et négatives des intervalles moyens ne donnent pas la même différence. Les nombres négatifs sont inférieurs aux nombres positifs, mais l'ordre des résultats positifs et négatifs n'est pas le même. Ainsi, en comparant les nombres moyens qui représentent pour l'instant la tension isolante, on trouve que dans l'air, l'hydrogène, l'acide carbonique, le gaz oléfiant et l'acide muriatique, la tension s'élève plus quand la plus petite balle est rendue positive que lorsque elle est négative, tandis que dans l'oxigène, l'azote et le gaz de charbon, c'est l'inverse.

Les expériences précédemment décrites (1406) montrent que les gaz possèdent tous sensiblement la même capacité inductive D'un autre côté, les résultats que je viens de faire connaître nous prouvent que ces mêmes gaz n'ont pas le même pouvoir isolant; il faut donc en conclure que ces deux propriétés sont essentiellement distinctes l'une de l'autre.

Quand on passe des diélectriques gazeux aux diélectriques liquides ou solides, tels que l'air, l'essence de térébenthine et la laque, si l'on augmente l'intensité de l'induction jusqu'à ce que la décharge ait lieu, on trouve qu'elle doit être plus élevée dans le liquide que dans le gaz, et plus élevée encore dans un solide que dans un liquide. Ces effets tendent donc à prouver que le pouvoir isolant est en rapport avec le nombre de particules, puisqu'il est d'autant plus grand que les corps sur lesquels on opère renferment plus de particules sous le même volume

En considérant donc le pouvoir isolant dans les diélectriques non conducteurs jusqu'au point le plus élevé qu'ils puissent atteindre, on trouve que sa dernière limite est une décharge de rupture, laquelle se présente à nous, comme on sait, sous les formes d'étincelle et de lueur.

§ IV. *Étincelle ou lumière électrique.*

1425. M. Faraday considère l'étincelle comme une décharge ou affaiblissement de l'état de polarité inductive dans lequel les particules d'un diélectrique ont été mises par l'action d'un corps électrisé. Toutes les particules préalablement polarisées retournent à leur premier état normal dans l'ordre inverse de celui dans lequel elles l'avaient quitté. La marche de l'étincelle ou de la décharge dépend évidemment du degré de tension que possèdent les particules dans la ligne de décharge. L'instant de la décharge est probablement déterminé, suivant lui, par la molécule du diélectrique qui, d'après les circonstances, atteint rapidement le maximum de tension. Dans les cas où la tension passe d'un conducteur dans un autre, cette molécule est à la surface de l'un d'eux. Il pense aussi que la tension de cette particule qui est nécessaire pour produire la décharge, est une quantité constante, indépendante de la forme de la partie du conducteur en contact avec elle, que ce soit une balle ou une pointe, et de l'épaisseur ou de la profondeur du diélectrique dans lequel se développe l'induction

Je me borne à énoncer l'opinion de M. Faraday sur les causes qui déterminent la production de l'étincelle sans chercher à la combattre ni à la défendre, attendu que les faits manquent pour connaître au juste la vérité.

1426. Les caractères de l'étincelle varient dans différents gaz, peut-être en raison de la chaleur dégagée, et du rapport spécifique des forces inductives propres à leurs particules

Dans l'air, les étincelles ont cette lumière intense et cette couleur bleue si connue; elles ont souvent des parties claires ou obscures dans leur trajet, quand la quantité d'électricité qui passe est peu considérable. Dans l'azote elles sont belles et elles ont la même apparence générale que dans l'air, mais elles ont décidément une couleur bleue ou pourpre, et elles sont accompagnées

d'un son très-remarquable. Dans l'oxigène les étincelles sont plus blanches que dans l'air ou dans l'azote, mais non aussi brillantes. Dans l'hydrogène elles présentent une belle couleur cramoisie, qui n'est pas due à sa faible densité, puisque ce caractère s'efface quand l'atmosphère est raréfiée, le son est faible, ce qui est une conséquence de sa condition physique. Dans le gaz acide carbonique, la couleur est semblable à celle de l'étincelle dans l'air, mais avec un peu de couleur verte, et les étincelles sont plus irrégulières. Dans le gaz hydro-chlorique sec, l'étincelle est presque toujours blanche sans partie obscure.

Dans l'oxide de carbone, l'étincelle est quelquefois verte, rouge, et tantôt l'une, tantôt l'autre. Quelquefois on aperçoit des parties noires dans la ligne de l'étincelle. Ces variétés de caractère sont dues à un rapport direct des pouvoirs électriques avec les particules du diélectrique à travers lequel a lieu la décharge, et ne doivent pas être considérées comme les simples résultats d'une ignition accidentelle

L'étincelle peut s'obtenir dans divers liquides, comme l'essence de térébenthine, l'huile d'olive, la résine, le verre. On peut l'obtenir également dans le blanc de baleine, l'eau, etc.

1427. J'ai étudié, avec mon fils Edmond, le développement de l'étincelle à mesure que la distance entre les boules chargées d'électricité contraire augmente. Voici le résultat de nos observations :

Quand on examine avec attention l'étincelle produite par la décharge de deux conducteurs chargés d'électricité contraire, qui leur est fournie continuellement, comme les conducteurs de la machine de Nairne, on observe les effets suivants : lorsque les deux conducteurs sont terminés par deux boules d'égal diamètre, placées à deux ou trois lignes de distance, l'étincelle est ainsi constituée : du côté négatif, un point lumineux bien prononcé ; du côté positif, également un point lumineux, mais moins fort, et entre les deux une partie sombre violacée. Si on

vient à écarter les conducteurs, la partie lumineuse négative se sépare en deux parties, qui s'éloignent de plus en plus à mesure que l'on écarte les deux boules. L'étincelle est alors composée de trois parties lumineuses et de deux parties sombres violacées. A mesure que l'on écarte les boules, la partie lumineuse qui s'est détachée du conducteur négatif se rapproche de la lueur positive, et finit par se joindre à elle. Alors il ne reste plus qu'une très-faible lueur du côté négatif, et une très-forte lueur du côté positif. Les étincelles acquièrent ensuite une telle intensité qu'il est difficile d'apercevoir aucune différence entre leurs parties.

§ V. *De l'aigrette électrique.*

1428. Il y a plusieurs moyens d'obtenir ce mode de décharge. Il suffit pour cela de fixer à angle droit sur le conducteur positif d'une machine électrique une tige métallique de quelques lignes de diamètre, et arrondie par le bout extérieur.

La main, ou toute autre grande surface conductrice, peut être approchée vers l'extrémité pour augmenter la force inductive. L'aigrette obtenue avec une puissante machine au moyen d'une balle d'environ dix-huit millimètres de diamètre, fixée à l'une des extrémités d'une longue tige de cuivre, a l'apparence de la forme représentée fig. 56. Une petite partie conique, brillante, paraît au milieu de la balle, laquelle se projette loin d'elle, directement à une petite distance; elle se brise soudainement en une large aigrette de pâles ramifications, ayant un mouvement tremblé, et étant accompagnée en même temps d'un claquement sourd et faible. L'aigrette paraît continue; mais M. Wheastone a montré que tout le phénomène consiste en décharges successives et intermittentes.

En faisant usage d'une balle plus petite, l'aigrette est plus faible, et le son, quoique moins marqué, est plus continu. En se servant d'un fil à bout arrondi, l'aigrette est encore plus faible, mais séparable. Le son, quoi-

que plus faible, est plus élevé en hauteur et rend une note musicale distincte. Le son est dû en réalité aux décharges successives qui, arrivant chacune à des intervalles presque égaux, font entendre une note définie, dont le ton monte avec l'accroissement de rapidité et la régularité des décharges intermittentes. Ce ton donne une mesure facile et exacte des intervalles

Ainsi, lorsqu'en approchant la main d'une baguette ou d'une balle avancée, la hauteur du ton produit par la décharge d'une aigrette s'accroît, l'effet nous avertit que nous avons augmenté l'induction, et par suite la rapidité des alternatives de charge et de décharge En général, si l'on fait usage de fils avec des extrémités plus fines, on obtient des aigrettes plus petites, et le son est à peine perceptible Lorsque le son cesse, la lumière devient continue comme une lueur

1429 L'aigrette peut être considérée comme une décharge entre un corps mauvais conducteur et un corps non conducteur, ou bien entre un corps conducteur et un corps qui ne l'est pas. Dans des circonstances ordinaires, l'aigrette est une décharge entre un conducteur et l'air.

Tout porte à croire, suivant M. Faraday, que l'aigrette est une étincelle de l'air, une diffusion de la force électrique dans la matière, non par conduction, mais par une décharge de rupture.

L'aigrette et l'étincelle se confondent graduellement l'une dans l'autre. En rendant une petite balle positive au moyen d'une bonne machine électrique, et approchant de cette balle une autre balle plus forte, non isolée, on peut suivre facilement le passage de l'étincelle à l'aigrette.

Quand une aigrette électrique d'un pouce à six pouces, ou plus, jaillit dans l'air, elle a la forme fig. 56; mais si l'on approche la main ou un autre corps, elle prend les formes fig. 57, 58, 59. On remarque dans ces figures la forme courbe des lignes de force inductive existant avant la décharge.

Dans l'air raréfié, les apparences de l'aigrette varient

beaucoup, selon les circonstances. Quelquefois une aigrette peut être composée de six à sept branches, larges, très-lumineuses, d'une couleur pourpre, en quelques parties distantes de plusieurs centimètres

1430. L'aigrette peut être obtenue non-seulement dans l'air et les gaz, mais aussi dans des milieux plus denses. M. Faraday l'a obtenue dans de l'huile de térébenthine, en plongeant le bout d'un fil de métal passant à travers un tube de verre dans le liquide contenu dans un vase de métal. L'aigrette était petite et très-difficile à obtenir; les ramifications étaient simples et divergeaient beaucoup les unes des autres. La lumière était très-faible, et il fallait une chambre bien obscure pour l'observer. L'aigrette a, dans différents gaz, des caractères spécifiques qui indiquent un rapport avec les particules de ces corps, même à un degré plus fort que l'étincelle Cet effet contraste fortement avec la non variation obtenue dans l'aigrette avec diverses substances, telles que le bois, le carton, le charbon, le nitre, l'acide citrique, l'acide oxalique, le carbonate de potasse, la potasse fondue, une forte solution de potasse, de l'acide sulfurique, du sulfure d'antimoine et de l'hématite. On n'a dans ces corps d'autre variation, dans le caractère de l'aigrette, que celle qui dépend de leur conductibilité plus ou moins parfaite. Voici les effets observés dans plusieurs gaz, à différentes pressions, avec des surfaces chargées positivement :

1431. L'effet général de la raréfaction est le même pour tous les gaz. Il passe d'abord des étincelles; celles-ci se convertissent graduellement en aigrettes, qui deviennent plus grandes et plus distinctes dans leurs ramifications, jusqu'a ce que, dans une raréfaction plus grande, ces dernières commencent à se fondre l'une dans l'autre et finissent par donner un rayon de conducteur à conducteur Des rayons latéraux se dirigent ensuite des conducteurs sur le verre du vase, et sont remplacés par une lueur constante qui couvre le fil de décharge. Les phénomènes varient avec les dimensions du vase, le degré de raré-

faction et la décharge de l'électricité de la machine. Quand cette dernière s'opère par des étincelles successives, elles sont très-belles; l'effet d'une étincelle d'une petite machine est égal et surpasse souvent celui d'une machine plus puissante agissant constamment.

1432. Passons en revue différents gaz.

Air. On obtient facilement des aigrettes positives pourpres à des pressions ordinaires. Quand l'air est raréfié, les ramifications sont très-longues et remplissent le globe. La lumière s'accroît beaucoup et présente une belle couleur pourpre avec une teinte quelquefois rose.

Oxigène. A des pressions ordinaires, l'aigrette est très-comprimée et d'une couleur blanche foncée. Dans l'oxigène raréfié, la forme et l'apparence sont meilleures, la couleur un peu purpurine; mais tous les caractères sont bien pâles comparativement à ceux dans l'air.

L'*azote* donne des aigrettes avec une grande facilité à la surface positive, beaucoup plus que tout autre gaz: elles sont presque toujours belles sous le rapport de la forme, de la lumière et de la couleur, et dans l'azote raréfié elles sont magnifiques. Elles surpassent les décharges dans tout autre gaz pour la quantité de lumière dégagée.

L'*hydrogène*, à des pressions ordinaires, donne une plus belle aigrette que l'oxigène, mais inférieure à celle de l'azote, la couleur est d'un vert gris. Dans l'hydrogène raréfié, les ramifications sont très-distinctes et d'une belle forme, mais d'une couleur pâle et d'apparence douce et veloutée et nullement égale à celle de l'azote. Dans l'état de la plus grande raréfaction, la couleur est d'un vert gris.

Oxide de carbone. Les aigrettes sont plus difficiles à produire dans ce gaz, et, sous ce rapport, le contraste avec l'azote est plus grand. Elles sont en général courtes, fortes, d'une couleur verte et possèdent le caractère de l'étincelle, car en se produisant aux extrémités positive et négative, il y a souvent un intervalle obscur entre les deux aigrettes; en outre, le son rapide de l'étincelle qui se produit semble indiquer que la décharge est soudaine

à travers le gaz, et possède, sous ce rapport, le caractère d'une étincelle Dans le gaz oxide de carbone raréfié, les forces sont supérieures; mais la lumière est très-faible et de couleur grise.

Le gaz acide carbonique produit une aigrette très-faible à des pressions ordinaires, sous le rapport de l'étendue, de la lumière et de la couleur. Dans l'acide carbonique raréfié, l'aigrette présente une meilleure forme; mais la lumière est faible et d'un vert pourpre assez faible, qui varie selon la pression et d'autres circonstances.

Gaz hydrochlorique. Il est très-difficile d'obtenir l'aigrette dans ce gaz à des pressions ordinaires. En augmentant graduellement la distance des bouts arrondis, les étincelles cessent tout à coup, quand l'intervalle est d'environ deux centimètres, et la décharge qui a lieu à travers le gaz est silencieuse et obscure. Quelquefois on peut obtenir, pendant quelques instants, une aigrette très-courte, mais elle disparaît de nouveau très-rapidement.

1433. En résumé, nous voyons que dans le gaz hydrochlorique l'aigrette est difficile à obtenir, et qu'il y a presque une décharge obscure, participant de la rapidité d'action de l'étincelle; que dans l'azote, l'étincelle change rapidement son caractère en celui d'une aigrette; que dans le gaz acide carbonique, il paraît facile de produire l'étincelle de décharge, tandis que ce gaz diffère de l'azote par la facilité que possède ce dernier de former des aigrettes, et de l'acide hydrochlorique par la facilité de continuer l'étincelle. Ces différences viennent à l'appui des observations déja faites sur l'étincelle dans différents gaz, et des conséquences que l'on peut en déduire relativement au rapport des forces électriques avec la matière. Le caractère de l'azote, par rapport à la décharge électrique, doit avoir une influence importante sur la forme et même la présence de la lumière. Ce gaz produisant plus rapidement les coruscations au moyen desquelles il étend la décharge à une plus grande distance que les autres gaz, il pourrait se faire, comme le pense M. Faraday

qu'en raison de sa présence dans l'air, dont il forme les quatre cinquièmes, le pouvoir qu'il possède ait un rapport particulier avec son usage électrique dans la nature.

Nous voyons aussi que dans tous les gaz les diverses décharges de rupture peuvent se rattacher les unes aux autres, de telle manière qu'on les suit graduellement, quand elles passent de l'une à l'autre, depuis l'étincelle jusqu'à la lueur, et même jusqu'à un état plus éloigné encore, qu'on peut appeler décharge obscure dont je parlerai ci-après; on reconnaît en même temps que chaque décharge possède un caractère spécifique pendant tout le temps qu'elle prédomine.

§ VI. *Différence de décharge aux surfaces conductrices positive et négative.*

1434. Il y a une différence très-frappante quand on observe l'aigrette de décharge dans l'air aux surfaces positive et négative : c'est un fait établi depuis longtemps. L'intelligence de cette différence est de la dernière importance, pour la physique électrique, puisqu'elle ne peut manquer de jeter un grand jour touchant l'action moléculaire des diélectriques sur les phénomènes d'induction.

On disait jadis qu'une pointe chargée positivement donnait des aigrettes dans l'air, tandis que la même pointe chargée négativement donnait une étoile ou point lumineux; mais si des pointes métalliques s'avancent dans l'air libre, leur lumière positive et négative diffère très-peu en apparence, et l'on ne peut observer entre elles une différence qu'après un examen attentif. L'effet varie beaucoup suivant diverses circonstances. On peut établir ainsi le fait : si l'on se sert d'un fil métallique avec une extrémité arrondie dans l'air libre pour produire l'aigrette de décharge, alors les aigrettes obtenues quand le fil est chargé négativement sont très-faibles et très-petites en comparaison de celles qui sont produites quand la décharge est petite. Si l'on considère une grande balle de métal en

rapport avec la machine électrique qui lui fournit de l'électricité positive, et qu'on en approche graduellement une pointe non isolée, on voit sur celle-ci, quand elle est à une grande distance, une étoile qui, devenant plus brillante, ne change pas de forme jusqu'à ce qu'elle soit tout près de la balle; si la balle est chargée négativement, la pointe, à une distance considérable, présente une étoile comme précédemment; mais quand on la rapproche jusqu'à la distance de quelques centimètres, il se forme une aigrette qui s'étend, et quand elle est encore plus près, à trois ou quatre millimètres, cette aigrette cesse et il passe des étincelles brillantes. Ces effets présentent toute la série des différences, et ils semblent montrer à la fois que la surface négative tend à conserver, sans changement, son caractère de décharge, tandis que la surface positive, dans de pareilles circonstances, admet de grandes variations.

1435. Quand les aigrettes négative et positive distinctes sont produites simultanément dans l'air, la première a presque toujours une forme contractée, ayant beaucoup de ressemblance avec la forme que présente l'aigrette positive elle-même, quand elle est influencée par le voisinage latéral des parties positives agissant par induction. Ainsi une aigrette sortant d'une pointe dans l'angle rentrant d'un conducteur positif, a la forme comprimée, fig. 60. Le caractère de l'aigrette négative n'est pas affecté par la nature chimique des substances des conducteurs, mais seulement par leur pouvoir plus ou moins conducteur

La raréfaction de l'air ordinaire autour d'une balle négative ou d'une pointe émoussée facilite le développement de l'aigrette négative, l'effet paraît plus grand que dans l'aigrette positive. Dans l'air, la supériorité de l'aigrette positive est bien connue; dans l'azote, elle est aussi grande et même plus que dans l'air Dans l'hydrogène, l'aigrette positive perd une partie de sa supériorité, car elle n'est pas aussi marquée que dans l'azote et dans l'air, tandis que l'aigrette négative ne paraît pas af-

fectée; dans l'oxigène, l'aigrette positive est comprimée et faible, tandis que l'aigrette négative ne faiblit pas. Dans le gaz oxide de carbone les aigrettes sont difficiles à produire comparativement à celles qu'on obtient dans l'azote; l'aigrette positive n'a pas un caractère bien supérieur à l'aigrette négative à des pressions ordinaires ou inférieures. Dans le gaz acide carbonique on voit aussi ce rapprochement de caractère. Dans le gaz hydrochlorique, l'aigrette positive est très-peu supérieure à l'aigrette négative, et toutes les deux sont difficiles à produire.

En résumé, on trouve que, bien qu'il y ait une différence générale en faveur de l'aigrette négative sur l'aigrette positive, cette différence atteint son maximum dans l'azote et l'air; tandis que dans le gaz acide carbonique, le gaz hydro-chlorique, le gaz oxide de carbone, elle diminue et devient nulle. Tous ces effets paraissent donc dépendre des rapports qui existent entre les forces électriques et les molécules de la matière soumises à leur action.

1436. Je vais continuer à exposer les particularités des décharges positives et négatives, sous la forme d'étincelles ou d'aigrettes, en employant des sphères de différents diamètres.

Si l'on fait passer des étincelles entre deux sphères de diamètres inégaux, les étincelles sont beaucoup plus fortes quand la petite boule est positive et la grande négative, que lorsque le contraire a lieu. Dans le premier cas, les étincelles peuvent avoir jusqu'à deux ou trois décimètres de long; tandis que dans le second, elles n'ont que deux ou trois centimètres.

Voici les expériences que j'ai faites à ce sujet:

Boule de soixante-quinze millimètres de diamètre, rendue négative, et petite boule de dix-huit millimètres de diamètre, rendue positive au moyen des conducteurs de la machine de Nairne; limite de l'écartement pour produire les étincelles, soixante-cinq millimètres. En faisant l'expérience d'une manière inverse, limite, vingt-neuf millimètres.

Petite boule en communication avec le sol, et grande boule avec le conducteur positif d'une forte machine; limite des étincelles, quarante-cinq millimètres. Expérience inverse, cent vingt-cinq millimètres.

En prenant pour corps induit un miroir parabolique, l'étincelle part à trois décimètres. L'expérience prouve, comme on l'avait déjà observé, que lorsque l'étincelle commence à éclater entre deux conducteurs, si l'on éloigne peu à peu ces deux conducteurs, on finit par faire parcourir à l'étincelle un espace beaucoup plus considérable que si l'on eût agi immédiatement. Il résulte de là que le passage de la décharge à travers l'air prédispose de plus en plus ses molécules composantes à transmettre le courant.

Voyons maintenant les différences qui existent entre les aigrettes dans diverses circonstances.

1437. On appelle étincelle ou aigrette positive ou négative celle qui provient d'une surface électrisée positivement ou négativement, lorsque cette surface est inductrice. Suivant M. Wheastone, l'étincelle commence à la surface chargée, c'est-à-dire là où est la tension maximum.

On conçoit, d'après ce que je viens de dire, qu'il doit exister une grande différence selon que les balles sont inductrices ou induites : une balle induite rendue positive donne une étincelle presque deux fois aussi longue que celle qui est produite quand la boule est inductrice et positive; il se manifeste dans les mêmes circonstances, quoique d'une manière moins marquée, une différence semblable avec des balles électrisées négativement, selon qu'elles sont inductrices ou induites.

L'expérience suivante, qui est due à M. Faraday, montre les diverses phases de décharges entre des boules de diverses dimensions, et comment l'étincelle se change en aigrette. L'excitateur dont il a fait usage est représenté fig. 61; les deux boules de cuivre A et D ont cinq centimètres de diamètre; les boules B et C cinq millimètres; les fourches L et R sont également de

cuivre; la distance entre chacune des grandes boules et la petite correspondante est d'un décimètre trente-cinq centimètres. On met la fourche L en communication avec le conducteur positif ou négatif d'une machine électrique, et la fourche L' avec un conducteur non isolé. Les excitateurs étant mobiles, les distances *n* et *o* peuvent varier à volonté. Voici quelques-uns des résultats obtenus : les intervalles *n* et *o* étant égaux à vingt-quatre millimètres, quand les boules A et B étaient inductrices positivement, la décharge avait lieu en *n*, le plus souvent avec une aigrette; quand les boules étaient inductrices négativement, la décharge avait encore lieu en *n*, mais avec une aigrette constante. Les distances entre les boules étant d'un centimètre huit millimètres, dans le premier cas, toute la décharge se produisait encore en *n* au moyen d'une aigrette positive; dans le second, il en était encore de même.

M. Faraday a conclu des expériences précédentes, et d'autres que je ne puis rapporter ici, parce que je serais obligé de donner trop d'étendue à ce chapitre : 1° que de deux surfaces également conductrices, placées dans l'air et électrisées au même degré, l'une positivement, l'autre négativement, celle qui est négative se décharge dans l'air à une tension un peu plus basse que celle qui est nécessaire pour la balle positive; 2° que lorsque la décharge a lieu, il s'en dégage davantage, dans le même temps, de la surface positive que de la surface négative.

Supposons maintenant qu'au moyen d'une forte machine, on tire des aigrettes ou des étincelles d'une petite boule, on peut concevoir, jusqu'à un certain point, suivant M. Faraday, la différence observée, selon que cette boule est positive ou négative; en effet, « quand « elle est positive, elle donne une étincelle plus grande et « plus puissante que lorsqu'elle est négative; en fait, l'é« tincelle, quoique emportant plus d'électricité à la fois, « commence à une tension qui n'est qu'un peu plus forte, « si même elle l'est réellement D'un autre côté, si elle « est négative, quoique la décharge puisse commencer à

« un degré plus faible, elle ne continue que pendant une « très-courte période, l'électricité ne passant chaque fois « qu'en très-petite quantité. Ces circonstances sont en « rapport direct; car l'étendue que peut atteindre l'étin- « celle positive, et la dimension et l'étendue de l'aigrette « positive sont des conséquences de la faculté que possède « la surface positive de fournir dans une décharge une « forte quantité d'électricité. »

1438. Des expériences semblables à celles que je viens de faire connaître, ont été faites dans différents gaz. L'appareil fig 62 diffère de l'appareil fig. 61, en ce que l'excitateur se trouve dans une cloche de verre où l'on peut introduire des gaz après avoir fait le vide. Les boules A et B sont fixées à deux tiges passant dans des boîtes à cuir, et réunies au moyen d'un fil u, qui communique avec le conducteur d'une machine électrique. Ces tiges étant graduées, il est facile avec une échelle de reconnaître la distance entre les boules A et B, et les boules inférieures mises en communication avec le plateau inférieur de métal, non isolé, au moyen d'une fourche métallique.

Pour comparer les effets de la décharge dans l'air et dans différents gaz, on fait usage d'un autre appareil, en rapport avec le précédent fig. 63, et formé de deux petites balles E et F, fixées à des tiges métalliques mobiles, qui permettent d'augmenter ou de diminuer la distance p.

Les résultats consignés dans le tableau suivant s'expliquent d'eux-mêmes, toute la décharge avait lieu dans l'air, quand l'intervalle était moindre que celui qui est indiqué dans la première ou la troisième colonne; toute la décharge au contraire avait lieu dans le gaz, quand l'intervalle dans l'air était plus grand que dans la seconde ou la quatrième colonne; à des distances intermédiaires, la décharge avait quelquefois lieu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre

INTERVALLE CONSTANT n entre B et D = 1 pouce	INTERVALLE p EXPRIMÉ EN FRACTIONS DE POUCE			
	Quand la petite balle était inductrice et positive, la décharge avait lieu		Quand la petite balle était inductrice et négative, la décharge était toute	
	en p dans l'air auparavant	en n dans le gaz ensuite	en p dans l'air auparavant	en n dans le gaz ensuite
	$p =$	$p =$	$p =$	$p =$
dans l'air	0,40	0,50	0,28	0,33
dans l'azote	0,30	0,05	0,31	0,40
dans l'oxigène	0,33	0,52	0,27	0,30
dans l'hydrogène	0,20	0,40	0,22	0,24
dans l'oxide de carbone	0,20	0,90	0 20	0,27
dans le gaz acide carbonique	0,04	1,30	0,30	5,45

Ces résultats nous montrent, comme ceux qui ont été précédemment obtenus, que les gaz restreignent la décharge dans des proportions très-différentes S'ils ne sont pas aussi forts que les premiers, M Faraday attribue la différence à ce que la cloche de verre n'étant pas vernie, agissait d'une manière irrégulière, et aux dimensions relatives des boules de décharge dans l'air. En effet, dans le premier cas, elles ont des dimensions très-différentes, tandis que, dans le cas présent, elles ont les mêmes dimensions.

En rendant égaux les intervalles n et o, fig 62, on trouve les résultats suivants, relativement à la plus grande facilité de décharge dans la petite boule, selon qu'elle est positive ou négative

Air Inter. $=$0,4 po, A et B inducteurs et positifs, décharge presque égale en n et o; A et B inducteurs négatifs, décharge plus forte en n par une aigrette négative.

Inter $=$ 0,8 po ; A et B induc. positifs, décharge en n par une aigrette; en sens inverse, décharge en n par une aigrette.

Il est donc douteux que la balle négative ait une plus grande facilité que la balle positive

Azote. Inter.$=$0,4, A et B inducteurs positifs, décharge aux deux inter., plus forte en n avec des étincelles po-

sitives ; A et B inducteurs négatifs, décharge plus forte en *o* par une étincelle positive. Il paraît que la petite balle produit une décharge plus rapide.

Oxigène. Inter. = 0,4 ; A et B inducteurs positifs, décharge par une aigrette ; inducteurs négatifs, décharge plus forte en *n* avec aigrette négative, et la petite balle paraît donner la décharge la plus rapide.

Hydrogène. Inter. = 0,4 ; A et B, inducteurs positifs, décharge presque égale, inducteurs négatifs, décharge plus forte en *o*, et la décharge positive paraît plus facile.

Oxide de carbone. mêmes conditions, la décharge presque toute en *o* avec une étincelle négative. A et B ind nég., presque toutes la décharge en *n* avec une étincelle négative La décharge négative est plus facile.

Gaz acide carbonique. mêmes conditions ; décharge presque entière en *o*. A et B induct., décharge toute en *n*.

Il résulte de ces expériences que la petite balle négative a un avantage décidé pour faciliter la décharge de rupture sur la petite balle positive, dans quelques gaz, comme l'acide carbonique et l'oxide de carbone, tandis que dans quelques autres c'est la balle positive qui peut être supérieure. Tous ces résultats ont été obtenus sensiblement sous la même pression atmosphérique.

1439. Des expériences ont été faites également sur les mêmes gaz, relativement aux changements de l'étincelle en aigrettes dans l'air libre. Voici les résultats obtenus quand l'aigrette paraît mêlée avec l'étincelle :

GAZ	DÉCHARGE ENTRE LES BALLES B D.		DÉCHARGE ENTRE LES BALLES A C	
	Petite balle B inductrice *positive*	Petite balle B inductrice *négative*	Grande balle A inductrice *positive*	Grande balle A inductrice *négative*
Air	0,55	0,30	0,40	0,75
Azote	0,30	0,40	0,52	0,41
Oxigène	0,70	0,30	0,45	0,72
Hydrogène	0,20	0,10		
Gaz de charbon	0,13	0,30	0,30	0,14
Acide carbonique	0,82	0,43	1,00	au-dessus de 1,80, il

On obtient des étincelles à des intervalles beaucoup plus grands que ceux qui sont indiqués dans le tableau Les nombres qui y sont consignés représentent seulement les distances au-dessous desquelles la décharge est une étincelle.

1440. Les expériences précédentes ont des rapports avec celles que le professeur Belli de Milan a faites dans le but d'étudier la dissipation de l'électricité positive et négative dans l'air; je crois donc devoir exposer ici les résultats que ce physicien a obtenus :

Un électromètre à cadran ayant été fixé sur un conducteur horizontal, M. Belli trouva pour moyenne de trois expériences, qu'après avoir électrisé le conducteur positivement, l'électromètre mettait 10′ 2″ à descendre de 20° à 10°, tandis que lorsque le conducteur était chargé négativement, le même électromètre ne mettait que 4′ 30″ à parcourir les dix mêmes degrés Dans les deux séries d'expériences, l'état de l'atmosphère n'avait pas changé, la disposition des appareils était la même; enfin, toutes les circonstances étaient semblables dans les deux cas. D'autres séries d'expériences ayant donné les mêmes résultats, M. Belli en a conclu que dans l'air ordinaire et aux tensions pour lesquelles on se sert ordinairement de l'électromètre à cadran, tensions qui déterminent des étincelles longues de une à deux lignes, l'électricité négative se dissipe plus promptement que l'électricité positive.

Rien n'étant changé dans l'appareil, on ajusta seulement une pointe métallique à l'une des extrémités du conducteur isolé. Ce conducteur ayant été électrisé positivement, la tige de l'électromètre descendit rapidement à six degrés. A la déperdition qui avait eu lieu jusqu'à ce moment par la pointe, avec un bruit perceptible et une lumière visible dans l'obscurité, succéda une déperdition lente, semblable à celle qui avait lieu sans la pointe. Avec de l'électricité négative, la tige de l'électromètre descendit rapidement à quatre degrés et demi, et ce ne fut que

lorsqu'elle fut parvenue à ce point que la déperdition commença à s'opérer lentement.

Ces résultats, qui ont été confirmés encore par d'autres expériences, viennent à l'appui des conséquences auxquelles M. Belli avait été conduit d'abord.

Au lieu d'adapter la pointe métallique au conducteur lui-même, on le plaça vis-à-vis de son extrémité sur un pied non isolé. Le résultat prouva encore la différence qui existe entre le pouvoir absorbant et émissif des pointes pour chacune des deux électricités.

M. Belli a déduit enfin des faits qu'il a observés 1° que la force ordinairement moindre que possède l'électricité négative, comparée à celle de l'électricité positive, fournie par la même machine, ne dépend pas seulement de la disposition moins avantageuse des conducteurs destinés à recueillir la première électricité, mais aussi de la déperdition plus facile qu'elle éprouve; 2° que l'on ne peut admettre le principe mis en avant par M. Trémery pour expliquer le phénomène de la carte percée au moyen d'une étincelle électrique, principe d'après lequel l'électricité positive se propagerait dans l'air plus facilement que l'électricité négative, puisque les faits observés effectivement par M. Belli tendent à prouver que l'électricité négative se propage plus facilement que l'électricité positive.

§ VII. *Décharge lumineuse.*

1441. Cette décharge, qui se montre sous la forme de lueur souvent très-belle, semble dépendre d'une charge rapide et presque continue de l'air qui entoure le conducteur. La diminution de la surface électrisée produit cet effet. A mesure que la boule ou la tige arrondie qui est électrisée positivement diminue, les aigrettes disparaissent et sont remplacées par une lueur phosphorescente continue qui couvre tout le bout du fil; avec des tiges très-petites, et aussi avec des pointes coniques émoussées, les lueurs ont lieu plus rapidement, avec

une pointe très-fine, on ne peut obtenir l'aigrette à l'air libre, mais seulement la lueur.

L'augmentation de pouvoir dans la machine tend à produire la lumière. La raréfaction de l'air favorise merveilleusement les phénomènes de la décharge lumineuse.

Il est très-difficile d'obtenir une lumière négative dans l'air à des pressions ordinaires : M. Faraday n'a pu l'avoir avec une tige de o, 3 p. de diamètre, ni dans des tiges plus petites La lueur se présente dans tous les gaz qu'il a observés : l'air, l'azote, l'oxigène, l'hydrogène, le gaz oxide de carbone, l'acide carbonique, l'acide hydro-chlorique, l'acide sulfureux et l'ammoniaque. Il pense l'avoir obtenue dans l'huile de térébenthine, mais elle est très-faible et très peu visible. La lueur est toujours accompagnée d'un souffle venant soit directement de la partie lumineuse, ou se portant directement vers elle. Le premier cas est le plus général; il a lieu même quand la lueur se présente autour d'une boule de dimensions considérables.

Les diverses circonstances qui favorisent sa production sont faciles à étudier; ainsi je n'en fais pas mention ici.

Voyons maintenant le rapport qui lie la lueur à l'aigrette et à l'étincelle, selon que les surfaces électrisées sont positives ou négatives. Si l'on commence par l'étincelle, elle devient aigrette plus rapidement quand la surface où commence la décharge est négative que lorsqu'elle est positive.

L'aigrette positive devient une lueur bien avant que l'aigrette négative ait lieu.

M. Faraday pense qu'il est probable qu'en examinant avec attention le passage d'un ordre de décharge à un autre, on trouvera que chaque gaz présente des résultats particuliers dépendant du mode dont les particules prennent la condition électrique polaire.

Tous les effets observés tendent à montrer que la lueur est due à une charge ou à une décharge continue de l'air, laquelle est accompagnée, dans le premier cas,

d'un courant venant de la lueur, et dans le second d'un courant qui se dirige vers elle.

Dès l'instant que l'air environnant vient sur le conducteur électrisé et atteint le point où la tension est élevée à un degré suffisant, il se charge et se meut ensuite sous l'influence des forces auxquelles il est soumis. Pendant ce même temps, il ouvre la route à d'autres particules qui se chargent à leur tour, et ainsi de suite; d'où résulte un courant.

§ VIII. *Décharge obscure.*

1442. L'expérience suivante et les effets qui en résultent, suffisent pour montrer ce que l'on entend par décharge obscure.

Soient deux tiges de cuivre de 8 millim. de diamètre, entrant dans une cloche de verre par une de leurs extrémités et mises ensuite en contact; on raréfie l'air dans l'intérieur de la cloche, puis on fait passer une décharge de la machine entre les tiges, et pendant qu'elle continue les extrémités sont séparées l'une de l'autre; au moment de la séparation, une lueur continue a lieu sur le bout de la tige négative, tandis que l'extrémité positive reste tout à fait obscure. A mesure que la distance augmente, une traînée de lumière pourpre ou blanche paraît à l'extrémité de la tige positive et s'avance directement vers la tige négative, elle s'allonge à mesure que l'intervalle s'élargit, mais ne se joint jamais à la lueur négative; de sorte qu'il y a toujours entre elles un petit espace obscur. Cet espace, d'environ un millimètre et plus, est invariable en apparence dans son étendue et sa position relativement à la tige négative. Le même effet se produit, que le bout négatif soit inducteur ou induit.

Avec deux balles dans le récipient, où l'air était raréfié, les résultats ont été les mêmes, mais toutes les fois que le rayon lumineux qui se montrait après l'étincelle et l'aigrette avait cessé, il se changeait en lueur sur les

balles, et l'espace obscur se représentait. Quelquefois quand la balle négative était grande, la machine fortement en action et la raréfaction très-grande, la balle était couverte de lueur sur la moitié de sa surface, et ensuite ne paraissait pas avoir d'espace obscur; mais ce n'était là qu'une illusion.

Dans différents gaz, la décharge obscure diffère, à certains égards, de celle qui a lieu dans l'air. Les deux surfaces arrondies ayant été placées dans du gaz hydro-chlorique, à la pression de 6,5 de mercure, on a eu, en faisant passer un courant d'électricité continu, de brillantes étincelles, tant que l'intervalle n'a été que de 1 pouce ou au-dessous; mais au-dessus elles ont été remplacées par des aigrettes, ramassées, intermittentes, avec des lueurs sur les deux surfaces, et une partie obscure entre elles, etc. Quand le courant, dans la machine, était simplement une étincelle, alors chaque étincelle causait une décharge à travers l'acide hydro-chlorique qui, à un certain intervalle, devenait très-brillant; à un intervalle plus grand, il devenait lumineux; à un intervalle plus grand encore, il se produisait une faible aigrette à l'extrémité inductrice positive, et une lueur à l'extrémité induite négative. La partie obscure se trouvait entre les deux.

En introduisant plus de gaz jusqu'à ce que la pression fût de 29,97 po., les mêmes surfaces donnaient des étincelles brillantes à de petites distances; mais quand elles étaient éloignées d'environ 1 pouce ou plus, la décharge avait lieu généralement avec de très-faibles aigrettes, et quand la distance était de 2 cent. on avait une lueur, et fréquemment sans lumière, quoique l'électricité eût traversé le gaz. Dans le gaz oxide de carbone, à des pressions ordinaires, quand la distance était d'environ 1 pouce, la décharge était accompagnée d'aigrettes très-courtes aux extrémités, et il y avait entre elles un intervalle obscur d'un demi-pouce ou plus.

1443 L'hydrogène donne fréquemment des étincelles particulières, dont une partie sont d'un rouge brillant

tandis que l'autre est d'un gris pâle, ou bien toute l'étincelle est faible et d'un caractère particulier. Les faits précédents montrent comment on conçoit la décharge obscure.

L'azote présente une décharge très-remarquable entre deux boules, dont les diamètres sont de 0,15 po. et de 2 po., lorsque la plus petite est rendue négative directement ou par induction La décharge particulière se présente à des intervalles qui varient entre 0,42 et 0,68 et même 1,4. Quand la grande balle est inductrice positivement, elle consiste en une petite aigrette partielle sur la petite boule négative; il y a ensuite un espace obscur, et enfin une ligne droite sur la grande boule positive (fig. 61). La position de l'espace obscur est constante, et probablement en rapport avec l'espace obscur, quand la lueur négative est produite.

On voit donc que la décharge obscure est établie sur des faits incontestables.

§ IX. *Transport ou décharge de transport.*

1444. Cette décharge, sur laquelle nous ne dirons que peu de mots, parce que nous l'avons fait connaître suffisamment dans les précédents volumes, est celle qui est effectuée par le mouvement des corpuscules qui, se trouvant dans l'air, sont transportés d'une surface chargée à l'autre.

Ce mode de décharge, comme l'observe très-bien M Faraday, est en apparence très-différent des modes de décharge que j'ai exposés, mais comme il est le même en réalité, il a cru devoir en faire une étude particulière. Nous ne le suivrons pas dans l'examen qu'il en a fait, attendu que nous nous en tenons aux modes de décharge qui servent de base à la théorie Au surplus, nous ferons remarquer, avec M. Faraday, que cet examen est d'une certaine importance, parce qu'il met en évidence non-seulement la nature de la décharge elle-même, mais encore la faculté que possède le courant électrique, de trans-

porter des parties matérielles lorsque, ayant une intensité suffisante, il traverse un milieu liquide ou gazeux, et même solide

Je me suis attaché à décrire avec détails les expériences de M. Faraday et à exposer les principaux résultats qu'il a obtenus, afin de montrer l'influence qu'exercent les diélectriques sur tous les phénomènes d'induction, en y comprenant, bien entendu, les diverses décharges électriques qui sont toujours précédées d'une induction Je passe sous silence une partie des vues théoriques que ce célèbre physicien a présentées dans ses quatre derniers mémoires sur la cause des phénomènes électriques en général, attendu que je serais obligé d'entrer dans des considérations que ne comporte pas le plan de mon ouvrage, mon but étant particulièrement de faire connaître les faits principaux qui peuvent servir à expliquer les propriétés générales de l'électricité, et son mode d'action, comme force physique, ou comme force chimique.

LIVRE XIV.

DES DIVERSES PILES ET DE LEURS EFFETS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DES DIVERSES PILES A COURANT CONSTANT

§ Ier. *Premières recherches.*

1445. On s'occupe beaucoup, dans ce moment, de la construction de piles qui produisent des effets physiques et chimiques constants, en raison des avantages que l'on en retire pour les recherches scientifiques, ou que l'on en peut retirer pour les applications industrielles, avantages qu'on ne saurait trouver dans les piles à auges ou autres, construites d'après les principes de Volta. Mais on a perdu de vue les premières recherches qui ont été faites pour trouver les principes à l'aide desquels on construit aujourd'hui les nouvelles piles. Voici le précis des recherches que j'ai publiées à ce sujet dans les Annales de physique et de chimie (1), il y a dix ans :

(1) Tom. XLIII.

Pendant longtemps les physiciens qui ont voulu anaser les effets de la pile, se sont bornés à plonger chaue couple dans un mélange d'eau, d'acide sulfurique d'acide nitrique, en diverses proportions, sans cherier à analyser l'action individuelle de chaque liquide ir le cuivre et le zinc. La science n'était pas alors assez vancée pour qu'on pût se livrer à des recherches de ce enre.

Guidé par les expériences que j'avais faites pour anaser les courants électriques produits dans la réaction s liquides les uns sur les autres, j'ai adopté le dispotif suivant, qui permet de faire agir chacun des deux étaux sur un liquide différent :

On prend une petite boîte en verre AA' (fig 65), ins l'intérieur de laquelle on place deux diaphragmes en udruche DD, CC', afin de former trois cases; ces diaragmes sont appliqués sur les parois de la boîte avec ut le soin possible, afin que la communication d'une se à l'autre n'ait lieu que par l'intermédiaire de la baucle qui n'est là que pour retarder le mélange ou la mbinaison des liquides contenus dans chacune des cases. la rigueur, on peut ne mettre qu'un diaphragme; mais xpérience prouve que les deux sont nécessaires, surtout iand elle doit durer longtemps. Le fond de cette boîte t ouvert seulement dans la partie située entre les deux aphragmes, afin qu'en plongeant l'appareil dans un se qui renferme un liquide conducteur, les liquides ntenus dans chacune des cases extrêmes ne se mêlent ie difficilement. On peut, si l'on veut, fermer cette iverture, et mettre dans la case du milieu un des liides contenus dans l'une des deux autres.

1446 Considérons d'abord le cas où les trois cases contiennent que de l'eau, avec $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique : l'on plonge une lame de cuivre et une lame de zinc, iacune dans une des cases extrêmes, et que l'on fasse mmuniquer les deux bouts libres avec les extrémités i fil d'un multiplicateur, on obtient les résultats suiints :

N° 1

LIQUIDE contenu dans la case cuivre	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion	DÉVIATION de l'aiguille aimantée
Eau et 1/50 d'acide sulfurique	*Idem*	0 15 min. 30	63° 53 46

On recommence l'expérience après avoir changé les liquides et nettoyé les lames; la déviation est encore dans le premier moment, de 63°; mais si l'on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique dans la case cuivre, les effets changent; le courant augmente d'intensité.

N° 2

LIQUIDE contenu dans la case cuivre	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion	DÉVIATION de l'aiguille aimantée
Eau et 1/50 d'acide sulfurique plus 1/50 d'acide nitrique	Eau et 1/50 d'acide sulfurique	0 15 min 30	80° 73 65

En substituant du nitrate de cuivre à l'acide nitrique, les résultats sont sensiblement les mêmes.

En supprimant l'acide sulfurique et n'ajoutant que de l'acide nitrique dans les deux cases, on a :

N° 3.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée
Eau et 1/50 d'acide nitrique	Eau et 1/50 d'acide nitrique	0 15 min 30	81° 71 67

L'acide hydro-chlorique substitué à l'acide nitrique, et employé en même quantité, produit à peu près les mêmes effets.

Quand la case cuivre renferme une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et la case zinc une dissolution saturée de sulfate de zinc, on a

N° 4.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion	DÉVIATION de l'aiguille aimantée
Dissolution saturée de nitrate de cuivre	Dissolution saturée de sulfate de zinc	0 15 min 30	84° 72 68

Enfin considérons le cas où l'on met de l'acide nitrique dans la case zinc :

N° 5.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Eau et 1/50 d'acide sulfurique.	Eau et 1/50 d'acide sulfurique et 1/10 d'acide nitrique	0 15 min. 30	62° 64 61

Quoique je ne rapporte pas les intensités des courants qui correspondent aux déviations de l'aiguille aimantée, ces déviations suffisent néanmoins pour tirer les conséquences suivantes, qui sont importantes pour la construction des piles à courant constant :

Le maximum d'intensité s'obtient sensiblement quand le cuivre plonge dans une dissolution de nitrate de cui-

vre, et le zinc dans une dissolution de sulfate de zinc. La diminution de cette intensité suit à peu près la même loi que dans les tableaux n°s 2 et 3. Les résultats du n° 5 sont ceux qui offrent le moins de variations. On peut même, avec certaines précautions, les rendre croissantes pendant une demi-heure; il suffit pour cela de ne mettre qu'un diaphragme dans la caisse, ou rapprocher tellement les deux diaphragmes l'un de l'autre, que l'acide nitrique de la case zinc puisse passer lentement dans la case cuivre, afin d'augmenter le pouvoir conducteur de la solution. Il m'est arrivé plusieurs fois d'obtenir une compensation telle que les déviations de l'aiguille aimantée étaient parfaitement constantes, pendant une heure et plus, avantage que l'on n'obtient jamais avec les piles ordinaires.

1447 Je dois faire observer qu'en général dès l'instant que la pile fonctionne, il s'opère des décompositions et des transports de substances qui polarisent les électrodes de manière à produire des courants en sens inverse du premier, de sorte que l'intensité de celui-ci diminue peu à peu. L'art consiste donc, pour obtenir un courant constant, à dissoudre les dépôts à mesure qu'ils se forment, avec des liquides convenablement placés. On y parvient à l'aide du procédé que j'ai décrit dans l'expérience n° 5. L'acide sulfurique qui est dans la case cuivre est employé en partie à dissoudre une portion du zinc qui est transporté sur la plaque cuivre, de même l'acide nitrique, qui se trouve dans l'autre case, s'empare d'une partie du cuivre de la dissolution qui a traversé les deux diaphragmes, et est réduit par le zinc. En diminuant par ce moyen l'intensité du courant secondaire, on arrive à des effets sensiblement constants.

Pour compléter l'analyse des effets produits dans un couple voltaïque, par l'influence des actions électro-chimiques, il était nécessaire de déterminer jusqu'à quel point ces actions cessaient d'agir pour augmenter l'intensité du courant. C'est ce que j'ai fait de la manière suivante. l'expérience étant disposée comme dans

le n° 1 et la déviation initiale étant de 63°, on a ajouté peu à peu de l'acide sulfurique dans la case zinc : la déviation a augmenté successivement jusqu'à 68°, qui est devenu un maximum qu'on n'a pu dépasser, en ajoutant un nouvel excès d'acide, tandis que quelques gouttes d'acide nitrique dans la case cuivre portaient l'aiguille aimantée à 80°. Je crois avoir rapporté assez de faits pour démontrer l'influence de l'action individuelle de chaque liquide sur les deux lames métalliques d'un couple voltaïque pour modifier l'intensité du courant, de manière à avoir des effets contraires.

J'ai cherché ensuite si les rapports précédents, obtenus avec un seul couple, étaient encore les mêmes quand on en réunissait plusieurs de manière à former une pile Les résultats ont été des plus satisfaisants.

Une pile construite suivant les principes que je viens d'indiquer, réunit les conditions les plus favorables pour avoir des effets constants. Nous verrons plus loin le parti que M. Daniell a tiré de ces principes, pour construire la pile à courant constant qui est généralement adoptée aujourd'hui

§ II. *De la pile simple à dégagement d'oxigène, à courant constant.*

1448 J'ai déjà fait connaître (1) une pile à courant constant, qui éprouve peu de variations dans l'espace de vingt-quatre heures et dont on peut tirer de grands avantages dans quelques cas. Chaque élément de cette pile est formé de deux petits bocaux en verre, dont l'un renferme de l'acide nitrique concentré, et l'autre une solution de potasse caustique, également très-concentrée, et d'un tube de verre recourbé, rempli d'argile très-fine, humectée d'une solution de sel marin, lequel sert à établir la communication entre les deux so-

(1) Tom. v, 1re partie, 1252.

lutions; dans le bocal où se trouve l'alcali, plonge une lame d'or, et dans l'autre une lame de platine. Si l'appareil est disposé de manière que les solutions soient séparées par une couche mince d'argile, il y a un dégagement abondant de gaz oxigène sur la lame qui se trouve dans l'alcali.

Je vais maintenant continuer à exposer les observations qui ont été faites avec cet appareil depuis la publication de la 1[re] partie du V[e] volume, où se trouve la théorie que j'ai donnée de ses effets

1449. M Jacobi de Dorpat a fait un travail assez étendu sur cet appareil : voici le mode de construction qu'il a adopté, et qui est à peu près le même que celui que j'ai décrit.

Dans un petit bocal, fermé à la partie supérieure par un couvercle de papier, plongeait à travers ce couvercle un tube de verre de cinq lignes de diamètre, ouvert par le haut et fermé à sa partie inférieure avec un tampon d'argile non effervescente avec les acides, et humecté d'une solution concentrée de sel marin, dans laquelle on avait ajouté un peu de potasse caustique. Il importe beaucoup pour le succès de l'expérience que le bouchon ne ferme pas trop fortement, car autrement les liquides qui sont, l'un dans le bocal, l'autre dans le tube, ne pourraient pas communiquer ensemble, il ne faut pas non plus qu'il soit trop aisé, dans la crainte que la pression du gaz ne puisse faire passer le liquide dans le tube à travers l'argile. Le haut du tube était fermé avec un bouchon de liége, auquel était ajusté un petit tube de verre dans lequel passait le gaz qui se dégageait, ainsi qu'un fil de platine soudé à une lame de platine qui se trouvait dans le premier tube . une autre lame de platine plongeait dans le bocal; les deux lames de platine avaient été mises en communication avec le fil d'un multiplicateur très-sensible. Un tube divisé, dans la boule duquel on avait fait fondre un peu de phosphore, recevait le gaz qui sortait par le tube de dégagement et était recueilli sous l'eau Les lames de platine, qui avaient deux pouces et

demi de longueur sur un demi-pouce de largeur, avaient été décapées avec soin, en les plongeant à diverses reprises dans de l'acide nitrique. Ce tube était rempli jusqu'au bord avec une lessive d'une potasse nouvellement préparée et très-concentrée On enfonçait ensuite le bouchon de manière que le tube destiné au dégagement du gaz fût rempli de liquide. Dans le bocal on versait de l'acide nitrique très-pur concentré, d'une pesanteur spécifique de 1,315 à la température de 14 degrés de R. Aussitôt que le circuit était fermé, il y avait un dégagement de gaz abondant. Lorsque le liquide était entièrement sorti du tube, il se dégageait des bulles de gaz qu'on laissait échapper pendant une demi-heure et le gaz était ensuite recueilli. Voici les résultats que M. Jacobi a obtenus avec l'appareil disposé comme il vient d'être dit :

1° La déviation de l'aiguille aimantée, qui était de 36 degrés dès le commencement, n'a éprouvé aucun changement pendant 24 heures;

2° Sur la lame de platine plongée dans l'acide on n'a remarqué aucune trace visible de dégagement de gaz; il n'y en a pas eu davantage intérieurement ou à la surface extérieure du bouchon d'argile. Cependant l'acide exhalait, dans le cours de l'expérience, une odeur d'acide nitreux, comme je l'avais déjà annoncé;

3° Il était important, pour le succès de l'expérience, que l'alcali fût concentré ainsi que l'acide;

4° Cet appareil décomposait l'iodure de potassium;

5° La précipitation du cuivre sur l'un des fils de platine dans un appareil décomposant ne s'est pas effectuée, du moins après une expérience d'un quart d'heure;

6° Lorsque la déviation de l'aiguille eut cessé et que l'iode fut dégagé, la lame qui plongeait dans l'alcali se comportait comme le zinc, et celle qui se trouvait dans l'acide comme le cuivre d'un couple voltaique;

7° 800 pieds de fil de cuivre de 3/4 de ligne de diamètre introduits dans le circuit ne changèrent pas sensiblement la déviation. La résistance de conductibilité de ce long fil devait être extrêmement faible relativement à celle des autres substances du circuit;

8° Quand le circuit était établi, au moyen de longues spirales et d'un cylindre de fer, il n'y avait pas la moindre étincelle au moment où on le fermait ou on l'ouvrait. L'emploi même d'un fil de fer court ne donnait jamais d'étincelle ;

9° Lorsque l'on armait la lame de deux fils de platine et qu'on la plaçait dans le cercle, comme fermeture secondaire, on éprouvait, en employant la spirale et en interrompant ce circuit, une secousse extrêmement faible quoique sensible, mais rien en le fermant. Le circuit n'étant fermé que par le fil du multiplicateur, on n'éprouvait aucune sensation, alors même qu'on appliquait le fil sur les lèvres,

10° Le dégagement de gaz était tel qu'on obtenait en 5 heures 0,6 de pouce cub.; ce gaz, privé d'odeur, de saveur et de couleur, était absorbé par du phosphore à peine chauffé jusqu'au point de fusion, avec dégagement de lumière brillante Ce gaz manifestait donc toutes les propriétés de l'oxigène pur Tous ces faits confirment les observations que j'avais annoncées dans mon mémoire.

§ III. *Développements relatifs aux décompositions chimiques opérées avec les appareils hydro-électriques simples.*

1450 Il est bien prouvé maintenant que la quantité d'électricité, qui est associée aux atomes dans les composés chimiques, est proportionnelle aux affinités en vertu desquelles ces atomes sont combinés D'après ce principe, plus les affinités sont énergiques, plus il y a d'électricité dégagée dans la combinaison, et plus le courant électrique employé doit avoir d'intensité pour détruire cette combinaison. Aussi a-t-on trouvé que lorsqu'une solution est soumise à l'action d'un courant, la quantité de cette solution, qui est décomposée, est proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe dans ce même temps.

D'un autre côté, nous sommes portés à admettre,

avec M. Delarive, que dans la pile de Volta les deux électricités réunies aux deux pôles ne sont autres que celles qui proviennent de la réaction chimique du liquide sur les couples extrêmes, lesquelles échappent à la recomposition. Si leur intensité paraît augmenter avec le nombre des couples, cela vient de ce que les couples intermédiaires opposent un obstacle d'autant plus grand à leur recomposition que le nombre est plus considérable.

Vient-on à fermer le circuit avec un fil métallique, les deux électricités extrêmes le parcourent immédiatement, parce qu'ils éprouvent moins de difficulté à se recombiner par son intermédiaire, qu'en suivant l'intérieur de la pile. Dès lors, si l'on parvient à retarder suffisamment par un moyen quelconque la recomposition des électricités produites dans la réaction de l'eau acidulée sur un métal, on aura des effets semblables à ceux d'une pile. Il ne faut pas perdre de vue pour cela que, dans la réaction chimique de deux corps l'un sur l'autre, en communication avec un troisième corps solide ou liquide, si l'on veut recueillir le plus d'électricité possible, il faut disposer l'appareil pour que le meilleur conducteur soit le corps qui est destiné à la recevoir. Revenons à l'appareil hydro-électrique simple.

1[re] *Expérience.* Dans un verre MN de quelques centimètres de diamètre (fig. 66), on verse de l'acide nitrique concentré; on plonge dedans un tube AB, fermé à sa partie inférieure avec un bouchon d'argile d'un centimètre d'épaisseur, humecté d'une solution de sel marin et de potasse, et coiffé d'une toile pour empêcher l'argile de tomber; ce tube est rempli d'une solution concentrée de potasse, comme dans les expériences précédentes. On plonge encore dans le verre MN un autre tube CD, de quelques millimètres de diamètre, traversé par un fil de platine, fermé à la lampe dans le haut, et rempli d'acide nitrique. Une lame de platine plongeant dans la solution de potasse est mise en communication avec ce fil. Dès l'instant que cette communication est établie, il se dégage abondamment du gaz oxigène dans le tube

A B, comme il est dit dans le mémoire ci-dessus relaté. Dans le tube C D, on n'observe aucun dégagement de gaz, mais l'acide nitrique se colore successivement en vert, puis en bleu, en passant successivement par toutes les nuances intermédiaires. Cette expérience démontre évidemment que dans la chaîne hydro-électrique, l'acide nitrique est décomposé par l'action du courant qui résulte de la réaction chimique de l'acide sur l'alcali. Toutes les fois que le fil du tube C D n'est pas immédiatement en contact avec l'acide nitrique, le dégagement de gaz cesse dans le tube AB. Cette condition est remplie quand le tube CD contient de l'acide sulfurique à différents degrés de densité, et est fermé par en bas avec un bouchon d'argile. Dans la réaction de l'acide sur l'alcali, l'acide prend l'électricité positive, l'alcali l'électricité négative; dès lors la lame qui se trouve dans la potasse est le pôle positif, et le fil qui est dans l'acide le pôle négatif. L'acide nitrique perd dans cette circonstance peu à peu de son oxigène, et se change en acide nitreux qui se dissout dans l'acide nitrique; selon le degré de concentration de la dissolution, la couleur de la liqueur passe successivement du jaune au vert et au bleu.

2e *Expérience*. Si l'on emploie, au lieu d'acide nitrique, de l'acide sulfurique étendu de moins de la moitié de son poids d'eau, il se dégage encore de l'oxigène sur la lame qui se trouve dans la potasse, mais en moins grande quantité que dans l'expérience précédente. Sur la lame négative il y a un dégagement de gaz hydrogène correspondant. Quand l'acide renferme une grande quantité d'eau, le courant électrique n'a plus assez de force pour décomposer l'eau.

3e *Expérience*. Si dans le tube A B on en met un autre, également fermé avec un tampon d'argile d'environ un centimètre de longueur, et rempli d'une solution de sulfate de potasse, et qu'on y plonge la lame de platine entourée d'une bande de papier tournesol, celle-ci ne tarde pas à rougir. On voit par là que l'électricité qui se dégage dans la combinaison de la potasse avec l'acide

sulfurique, devient apte, dans le même liquide, à décomposer le même sel Si, à la place de la solution de potasse, on met une solution d'iodure de potassium, l'iode apparaît immédiatement autour de la lame de platine, comme dans l'expérience de M. Jacobi

4ᵉ *Expérience.* Puisqu'il est bien démontré que le courant électrique est dû à la réaction de l'acide sur l'alcali, si l'on veut obtenir le maximum d'effets, il faut disposer l'appareil de manière que les deux électricités, à l'instant même de leur dégagement, se portent sur les lames de platine destinées à les recevoir

Voici la disposition qui m'a paru la plus favorable pour obtenir ce résultat (fig. 67) : le tube AB est coiffé, à son extrémité inférieure, avec une douille en platine, percée de petits trous, et au centre de laquelle est soudé un fil de platine *ab*, on recouvre cette lame extérieurement d'une toile à tissu très-serré, et l'on pose dessus une autre lame de platine également percée de trous, à laquelle est soudé un fil de platine que l'on met en communication avec le fil du tube AB ; cette dernière lame est entourée d'un bord relevé qui permet de le fixer sur le tube. Au moyen de cet arrangement, les deux liquides, à l'instant où ils réagissent l'un sur l'autre, cèdent, aux lames de platine, avec lesquelles les parties agissantes sont en contact, une portion des deux électricités dégagées, d'où résulte un courant produit par la plus grande quantité de l'électricité que l'on puisse recueillir dans la réaction de l'acide sur l'alcali. Le dégagement de gaz oxigène est très-abondant, si l'appareil est bien disposé. Quand le tube a deux centimètres de diamètre, il ne faut que peu d'instants pour recueillir un centimètre cubique de gaz oxigène Dans cet appareil, comme dans les précédents, on doit éviter d'opérer sur les dissolutions qui donnent naissance par leurs reactions réciproques à des composés solides, attendu que les surfaces de contact sont bientôt obstruées par des cristaux non conducteurs qui s'opposent à la circulation du courant. Quand cet

effet a lieu, il faut laver la surface du contact pour dissoudre les cristaux déposés.

5[e] *Expérience.* Le tube AB, fermé en bas comme à l'ordinaire avec un bouchon d'argile, humecté d'une solution de sel marin, est rempli d'une solution d'iodure de potassium, le verre MN rempli d'acide sulfurique légèrement étendu d'eau, puis la communication est établie entre les deux liquides au moyen de lames de platine en relation avec un fil du même métal. L'iodure de potassium est décomposé par l'action du courant produit dans la réaction de l'acide sulfurique sur le sel marin. On pourrait supposer que le dégagement de l'iode autour de la lame qui plonge dans la dissolution de l'iodure, provient de l'acide sulfurique qui, s'étant infiltré à travers l'argile, aurait rougi sur l'iodure de potassium; mais il n'en est rien, puisqu'on obtient le même résultat quand la solution d'iodure se trouve dans un second tube placé dans l'autre.

En substituant à l'acide sulfurique une solution concentrée de nitrate de cuivre, l'iode est également séparé, mais sans qu'il y ait dégagement de gaz et que le nitrate de cuivre soit décomposé. L'action du courant est donc entièrement employée à séparer l'iode du potassium, dont la combinaison est formée en vertu d'affinités moindres que celles qui constituent la combinaison de l'oxide de cuivre avec l'acide nitrique dans le nitrate

Les expériences que je viens de rapporter, prouvent évidemment que les décompositions susmentionnées sont dues uniquement à l'action du courant résultant de la réaction chimique des deux solutions qui se trouvent, l'une dans le tube AB, l'autre dans le verre MN, et qu'en disposant les appareils pour empêcher, autant qu'il est possible, la recomposition des deux électricités dégagées dans cette action, on a des effets chimiques comparables à ceux qui sont produits avec le courant provenant d'une pile composée.

CHAPITRE II.

DES PLAQUES DE ZINC AMALGAMÉ.

§ Ier. *Des propriétés du zinc amalgamé.*

1451. Les plaques de zinc amalgamé étant d'une très-grande utilité dans la construction des piles à courant constant, je dois d'abord faire connaître toutes leurs propriétés. Une plaque amalgamée, comme on l'a déjà vu, possède la singulière propriété de ne pas être attaquée par de l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique dans laquelle elle plonge; mais si l'on vient à la toucher avec un fil de cuivre ou de platine, l'action devient vive aussitôt, le zinc se dissout, et l'hydrogène se dégage sur le fil, qui est le pôle négatif du couple voltaïque. On considère, et avec raison, cet effet comme étant une anomalie, attendu que le mercure, constituant par son contact avec le zinc et l'eau acidulée un couple voltaïque, le zinc devrait être plus attaqué que lorsqu'il ne lui est pas associé; or, le contraire ayant lieu, il faut que les particules du zinc, par suite de leur contact suivi de combinaison avec le mercure, se trouvent dans le même état que les particules du fer inactif, comme M. Faraday l'a avancé.

Cette singulière propriété du zinc amalgamé a été signalée la première fois par H. Davy, dans sa lecture bakérienne pour 1826 (1). Il établit dans son mémoire

(1) Trans. philos., IIIe partie.

que *du zinc amalgamé est positif relativement à du zinc pur*, c'est-à-dire qu'il est plus attaqué que ce dernier Davy s'est borné à annoncer ce fait, sans en tirer aucune conséquence pour la construction des batteries voltaïques.

Il paraît que c'est M. Kemp, d'Edimbourg, qui a employé le premier le zinc amalgamé et le cuivre dans la construction régulière des appareils voltaïques, comme on le voit dans le nouveau Journal philosophique du professeur Jameson, pour décembre 1828

1452. Je vais passer maintenant en revue les expériences qui ont été faites successivement sur le zinc amalgamé par MM Sturgeon, Faraday et autres physiciens Commençons par le mode de préparation. on prend deux lames de zinc, et après les avoir polies avec du papier de verre, on étend du mercure sur la surface de l'une d'elles avec du linge, ou bien, ce qui est préférable, on la plonge auparavant dans de l'eau aiguisée par l'acide sulfurique. Ces deux lames, ainsi préparées et mises en communication avec un multiplicateur, sont plongées dans une faible dissolution d'eau acidulée La lame amalgamée agit comme le zinc et l'autre comme le cuivre, dans un couple voltaïque ordinaire. Mais ce qu'il y a encore de remarquable dans les effets que nous décrivons, c'est que l'action chimique, qui d'ordinaire est violente et intense sur le zinc qui plonge dans une solution d'acide sulfurique ou d'acide hydro-chlorique, est tranquille et uniforme sur des lames de zinc amalgamé. De plus, les pouvoirs électriques sont plus fortement exaltés et sont en jeu pendant plus de temps qu'avec du zinc pur.

Avec une solution d'acide nitreux les énergies électriques des deux lames se montrent à un degré très-supérieur.

M. Sturgeon a fait l'expérience suivante : deux lames de zinc, présentant chacune une surface de 10 pouces carrés, et dont l'une était amalgamée et brillante et l'autre non amalgamée, ont été plongées dans de l'acide nitreux dissous dans douze fois son volume d'eau, après avoir été

mises en rapport avec un multiplicateur. L'aiguille, après plusieurs oscillations, s'est arrêtée à 65°, après quoi on a obtenu les résultats suivants :

	Minutes	Déviations de l'aiguille
En	5	70°
	20	68
	30	65
	45	60
	60	55
	75	50
	90	45
	105	40
	120	35
En	4 heures	25

Les lames n'ayant pas été dérangées, au bout de 15 heures, la déviation de l'aiguille était encore de 18°. Le circuit ayant été interrompu, sans que les lames fussent dérangées de place, puis l'aiguille revenue dans le méridien magnétique, le circuit fut de nouveau complété; l'aiguille, après avoir été projetée à 30°, s'arrêta à 9°.

1453 M. Faraday a fait de son côté les observations suivantes, avec une petite batterie de 10 paires de plaques, composées chacune d'une lame de zinc amalgamée et d'une lame de platine, présentant une surface de quatre pouces carrés, réunies l'une et l'autre au moyen d'un fil de platine. La pile avait la forme d'une batterie à couronne de tasse; de plus un appareil décomposant faisait partie du circuit; le liquide employé était une dissolution d'acide sulfurique, d'une gravité spécifique de 1,25. L'action était nulle sur le zinc amalgamé, quand les électrodes n'étaient pas en communication; et lorsque cette communication était établie, l'action sur le zinc était en proportion avec la décomposition dans l'appareil décomposant; attendu que lorsque le courant était retardé dans ce dernier, il était retardé également dans la batterie. Quand une plaque de zinc amalgamé et une

lame de platine, plongées l'une et l'autre dans une solution d'acide sulfurique, étaient mises en communication avec un multiplicateur, le courant était très-puissant, mais son intensité diminuait aussitôt, et elle n'était plus que le $\frac{1}{4}$ ou le $\frac{1}{10}$ de ce qu'elle était d'abord. Cet effet est dû, comme l'observe M. Faraday, à ce que l'action qui a lieu sur la surface de la lame de zinc étant régulière, l'acide qui est en contact avec le zinc neutralise rapidement l'oxide formé, de sorte que l'oxidation marche ensuite lentement. Quand on opère avec le zinc ordinaire, le dégagement du gaz sur le zinc ordinaire tend à mêler continuellement tout le liquide, et porte ainsi sur le métal de l'acide nouveau qui enlève l'oxide formé; ainsi de suite.

Avec la batterie de zinc amalgamé, chaque fois que le courant cesse, la solution saline près du zinc est graduellement répandue dans le reste du liquide; et au renouvellement du contact avec les électrodes, on trouve que les plaques de zinc sont dans des circonstances les plus favorables pour la production d'un courant fort et puissant, et cela avec d'autant plus de raison que le zinc amalgamé n'est pas attaqué quand le circuit est ouvert.

J'ai dit plus haut que M. Faraday avait remarqué qu'avec un couple zinc amalgamé et platine, l'intensité du courant diminuait rapidement; des expériences faites postérieurement n'ont pas donné cependant le même résultat, comme on va le voir :

On a opéré avec un couple zinc amalgamé et platine; la surface de chaque plaque avait 4 pouces carrés, et le liquide intermédiaire était une dissolution d'acide sulfurique.

Dans le premier moment la déviation de l'aiguille a été de 62°, 5; puis

En	5 minutes	60°
	10 Id.	57
	15 Id.	55
	20 Id.	52,5
	25 Id.	49

30	Id.	48.
35	Id.	47
40	Id.	46,50
45	Id.	46
50	Id.	45.
55	Id.	45.
60	Id.	45

L'appareil ayant fonctionné pendant une heure, le ircuit fut interrompu pendant une minute et la solution gitée avec les lames qu'elle renfermait, puis, la communication rétablie; l'aiguille, après quelques oscillations, 'est arrêtée à 47°, c'est-à-dire que le courant a repris son ntensité première.

Le circuit étant resté fermé pendant une heure, l'aiuille était encore déviée de 42°; au bout de la troiième heure, la déviation n'était pas changée. Je dois jouter qu'un dégagement considérable d'hydrogène avait u lieu sur la surface de platine pendant le premier quart d'heure.

Ces résultats sont bien différents de ceux que M. Sturgeon avait obtenus en opérant avec une solution d'acide itreux, puisqu'ils montrent que les variations de l'inensité du courant finissent par être nulles au bout de 10 minutes.

1454 Continuons l'examen que M. Faraday a fait des propriétés du zinc amalgamé.

Dans une solution formée d'une portion d'acide ulfurique et de 30 parties d'eau, une plaque de zinc ordinaire est attaquée énergiquement. Dans les mêmes irconstances le zinc pur ne reçoit en comparaison qu'une action bien faible. On est porté à croire que, dans le premier cas, toute l'action provient de petits couples voltaïques formés de zinc et de fer. En opérant avec le zinc amalgamé, l'action est nulle ou à peine sensible, comme on l'a vu (1451), et elle ne se développe qu'en le ouchant avec un métal non oxidable. Pour savoir ce qui se passait dans les deux cas, M. Faraday a pris deux

plaques de zinc amalgamé, séchées et pesées avec soin, et une solution semblable à la précédente. Une de ces lames fut introduite avec une autre de platine, en communication avec elle, dans une éprouvette remplie de la solution. La seconde plaque fut mise en même temps dans une autre éprouvette remplie du même liquide, hors de tout contact métallique. Dans la 1re éprouvette, il y eut un fort dégagement de gaz autour du platine, et aucune bulle sur le zinc amalgamé de la seconde éprouvette. Au bout de dix minutes, les plaques furent lavées, séchées et pesées de nouveau; la seconde plaque pesait autant qu'avant l'expérience, tandis que la première avait perdu de son poids, comme cela devait être. Le gaz hydrogène dégagé ayant été mesuré, on trouva que, pour un équivalent de zinc oxidé, un équivalent d'eau avait été décomposé.

Relativement à l'observation de M. Delarive sur le zinc pur, il faut remarquer que lorsque l'acide agit sur du zinc ordinaire, des portions de cuivre, de plomb, de cadmium, ou d'autres métaux, sont mises en liberté à la surface et constituent, par leur contact avec le zinc, des paires de couples voltaiques très-petits, mais très-actifs.

Il résulte de cette multiplicité d'actions, qu'il y a beaucoup de zinc détruit, et que l'hydrogène se dégage en apparence sur la surface du zinc, tandis que ce dégagement n'a lieu réellement qu'à la surface des particules métalliques étrangères. Ces particules servent en même temps à décharger l'électricité du zinc, ou à l'y ramener, en diminuant ainsi le pouvoir qu'a ce métal de produire un courant électrique, qui s'étendrait à une plus grande distance à travers l'acide; il en résulte que l'intensité du courant qui passe par le circuit métallique entier se trouve bien diminuée.

On évite tous ces inconvénients au moyen des lames de zinc amalgamé.

Bien que le zinc amalgamé, quoique impur, ne décompose pas sensiblement l'eau acidulée, il conserve néanmoins une telle affinité pour l'oxigène qu'il suffit

du plus léger contact avec un métal pour faire naître une vive effervescence M Faraday pense que, dans cette circonstance, le mercure agit en amenant la surface dans une condition uniforme, qui détruit l'action de ces petits couples voltaiques Toute la surface du zinc étant recouverte, on conçoit qu'une partie ne puisse agir comme déchargeur vis-à-vis d'une autre; il en résulte que tout le pouvoir chimique de l'eau, à la surface, est dans cette condition d'égalité qui, quoique tendant à produire un courant électrique à travers le liquide sur une autre plaque de métal, ne présente pas d'irrégularités au moyen desquelles une partie ayant des affinités plus faibles pour l'oxigène, puisse agir comme déchargeur vis-à-vis d'une autre.

Deux conséquences importantes résultent de l'amalgamation du zinc : la première est que l'équivalent complet d'électricité s'obtient par l'oxidation d'une certaine quantité de zinc; la seconde, qu'une batterie construite avec du zinc ainsi préparé, et chargée avec une dissolution d'acide sulfurique, n'est pas altérée, du moins le zinc, tant que les électrodes ne sont pas unis.

Avec une batterie composée comme il vient d'être dit, l'action sur le zinc amalgamé est en proportion avec la décomposition dans la cellule expérimentale. Quand le courant est retardé, il est aussi retardé dans la batterie, il résulte de là que l'acide des cellules reste actif pendant plus de temps que d'habitude; de là une action constante qu'on ne peut obtenir avec le zinc ordinaire, en opérant comme on le fait ordinairement.

On conçoit que l'action ne soit pas régulière dans les couples ordinaires, attendu que la perturbation apportée dans le liquide par le gaz, amène à chaque instant sur la surface du zinc des quantités inégales d'acide qui ne decapent pas de la même manière les surfaces. On aurait pu croire que le zinc amalgamé était très-inférieur pour la force au zinc commun, à cause du mercure qui, recouvrant toute la surface, ne permet pas un contact aussi immédiat entre le zinc et l'acide; mais il n'en est

pas ainsi. En effet, lorsque l'on soumet à l' … expérience, dans les mêmes circonstances, deux couples ég … de zinc et de platine, et qui ne diffèrent l'un de l'aut … qu'en ce qu'une des lames de zinc est amalgamée et l'a … ne l'est pas, on reconnaît que le courant de zinc am … gamé est très-puissant, relativement à l'autre.

Pour rendre compte de cette différence, … est en faveur du zinc amalgamé, on peut dire que … zinc non préparé agit directement et seul sur le … acide, ce que ne fait pas le zinc amalgamé; le pr … ier, par l'oxide qu'il produit, neutralise rapidement … acide en contact avec sa surface, de manière à retar … les progrès de l'oxidation, tandis qu'à la surface du … nc amalgamé, l'oxide formé est à l'instant enlevé pa … e nouvel acide, et la surface polie du métal est toujo … prête à agir sur l'eau, avec d'autant plus de force qu … courant électrique a plus d'énergie.

§ II. *Tentatives faites pour expliquer l'ina … ivité du zinc amalgamé.*

1455 M. Grove a fait quelques expériences su … l'inaction du zinc amalgamé dans l'eau acidulée, dans … but d'expliquer aussi cette singulière propriété; les ré … tats auxquels il est parvenu ne sont pas sans intér … pour le lecteur.

Lorsqu'on décompose, au moyen de la pil … de l'eau acidulée, si l'on met quelques globules de merc … au fond du vase où se trouvent les électrodes de p … ine, on remarque que lorsque l'électrode négatif tou … le mercure, il est toujours amalgamé, si l'on touche … électrode négatif avec l'électrode positif, celui-ci est … le même aussitôt amalgamé.

De même, le mercure qui a fonctionné … ns l'eau acidulée comme électrode négatif d'un appa … l voltaïque, jouit de la propriété d'amalgamer le p … ine et le fer, des lames de ces deux métaux qui ont s … i d'électrodes négatifs, peuvent aussi s'amalgamer … simple contact avec le mercure.

M. Grove, qui a étudié ces effets avec soin, … reconnu

qu'ils étaient dus à la production du potassium et de sodium qui se déposent sur les lames décomposantes. Quand effectivement le mercure renferme quelques métaux électro-positifs, et qu'on plonge dedans un fil de platine, si l'on verse sur le mercure de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, l'eau est immédiatement décomposée et il se dégage abondamment de l'hydrogène sur le fil de platine. Le mercure combiné avec un métal électro-positif est donc l'élément positif du couple voltaïque. Davy est le premier qui ait remarqué que du mercure qui renferme des traces légères de potassium ou du sodium est extrêmement électro-positif.

M. Grove, guidé par ces observations, a émis l'opinion, que l'inaction du zinc amalgamé était l'effet d'une polarisation qui diffère des autres cas de polarisation, en ce que l'élément transporté, au lieu d'être précipité sur le métal négatif, entre en combinaison avec lui, et rend ainsi ce métal tellement positif, que le courant est anéanti, tandis que, dans les autres cas, il est seulement diminué d'intensité. Voici les expériences sur lesquelles ce jeune physicien fonde son opinion :

1° Ayant amalgamé à moitié une lame de cuivre, il la plongea avec une lame de zinc amalgamé dans de l'eau renfermant un septième d'acide sulfurique ou phosphorique ; aussitôt que le contact fut établi, il y eut un fort dégagement de gaz sur la partie non amalgamée de la lame de cuivre, tandis qu'il n'y eut seulement que quelques bulles isolées sur la partie amalgamée.

2° Ayant mis un gros globule de mercure dans un vase rempli d'eau acidulée, il le fit communiquer, au moyen d'une lame de cuivre amalgamée, avec un des bouts du fil du multiplicateur, et il plongea dans le même liquide une lame de zinc amalgamé en relation avec l'autre bout du multiplicateur ; il se produisit aussitôt un courant énergique de peu de durée, car au bout de quelques minutes l'aiguille était revenue à zéro.

3° En substituant au globule de mercure une lame de platine bien amalgamé, le courant devint prompte-

ment nul ou à peu près, tandis qu'en remplaçant le zinc par une lame de platine non amalgamée, cette dernière dégageait abondamment de l'hydrogène, et l'aiguille accusait un fort courant en sens inverse du premier.

4° Les choses étant disposées comme dans la deuxième expérience, on substitua à l'eau acidulée une solution de sulfate de cuivre; le courant fut énergique et constant, et le mercure s'amalgama avec le cuivre réduit.

1456. Voyons maintenant les conséquences que l'on peut tirer de ces quatre expériences : bien que le mercure n'agisse pas, dit M. Grove, comme un métal positif, il ne peut cependant, dans plusieurs cas, constituer l'élément négatif d'un couple voltaïque, à cause de la propriété qu'il possède de se combiner avec les éléments positifs des électrolytes, lesquels éléments le rendent positif au même degré que le métal avec lequel il est combiné. Mais si, comme dans la quatrième expérience, l'élément électro-positif de l'électrolyte est d'une nature telle, qu'en se combinant avec le mercure il ne le rende pas fortement positif, alors le courant n'est pas arrêté.

Quant à l'effet général du zinc amalgamé, on peut le concevoir de la manière suivante : tous les petits couples zinc et mercure étant positifs au même degré que le zinc, il faut la présence d'un autre métal pour compléter le circuit; car il n'y a pas de motif pour que le zinc amalgamé agissant seul, l'hydrogène se porte d'un côté ou de l'autre; c'est pour ce motif que l'action chimique est suspendue.

Le fait que le zinc amalgamé est positif par rapport au zinc ordinaire, et qu'il précipite le cuivre d'une solution de sulfate de cuivre, peut être expliqué de la même manière.

Dans la polarisation du mercure sous l'influence d'un courant, il se dépose sur ce métal non-seulement du potassium, du sodium ou autre métal électro-positif, mais encore de l'hydrogène. M. Grove a cherché si ce gaz, en se combinant seul en petite quantité avec le mercure, pouvait lui donner les mêmes propriétés.

On sait que Davy n'a pu parvenir à priver l'eau des matières qu'elle renfermait; M. Grove, pour y parvenir, a soumis à l'électrolysation, pendant cinq jours, dans un vase de cire, de l'eau distillée, acidulée par l'acide sulfurique pur. L'électrode négatif en cuivre amalgamé plongeait dans du mercure. Au bout de ce temps, le mercure fut remplacé par une autre quantité de mercure, et deux heures après, cette nouvelle quantité fut renfermée dans un tube avec de l'eau ainsi purifiée; le mercure laissa dégager une petite quantité d'hydrogène, qui provenait probablement de la présence dans le mercure du métal d'un des alcalis.

Cette expérience n'ayant pas donné le résultat qu'il en attendait, il répéta la deuxième expérience, rapportée plus haut, en élevant la température du liquide au-dessous de l'ébullition. L'aiguille du multiplicateur fut divisée de 60°, et le courant eut une intensité assez constante.

Il mit ensuite une lame de platine dans une cloche remplie d'hydrogène et la plongea dans du mercure. Quand le platine ou le mercure était mouillé, il montrait une tendance à l'amalgamation, mais jamais quand l'un et l'autre étaient parfaitement secs. De cette expérience, et d'autres que je ne rapporte pas ici, M. Grove en a tiré la conséquence que le mercure, sous l'influence d'un courant voltaïque, peut absorber une petite quantité d'hydrogène qui se dégage aussitôt que la communication est rompue. Quoi qu'il en soit, je crois qu'il faut encore de nouveaux faits pour avoir la véritable explication des propriétés du zinc amalgamé.

§ III. *Action des oxacides concentrés sur des couples voltaïques composés d'un métal oxidable et d'un métal inoxidable.*

1457. On sait que l'action chimique d'un acide à base d'oxigène sur les métaux oxidables est augmentée par l'association voltaïque de ces métaux avec d'autres métaux,

tels que le platine, etc. M. Thomas Andrews (1) vient de montrer que cette action est diminuée généralement dans les mêmes circonstances, quand l'acide est concentré. Les expériences suivantes mettent ce fait en évidence :

Lorsqu'on introduit dans l'acide sulfurique d'une pesanteur spécifique de 1,847, une plaque de zinc, à la température ordinaire, sa surface se recouvre d'une multitude de bulles de gaz si petites qu'on les prendrait pour un précipité blanc. Il suffit de l'agitation ou de l'application d'une chaleur douce pour les faire dégager. Ce gaz est de l'hydrogène pur. En chauffant l'acide, il y a à peine une nouvelle production de gaz, mais lorsque la température a atteint près de 100°, il commence à s'élever de la surface des filets de gaz. En continuant à élever la température, le phénomène continue, et, de 130 à 150°, il y a une vive effervescence; à des températures plus élevées encore, il se dégage un mélange de gaz sulfureux et d'hydrogène

Si, dans les mêmes circonstances, on met en contact une lame de zinc avec une lame de platine, de manière à former un circuit continu, les petites bulles de gaz se montrent seulement sur la surface de platine. Si on les enlève, elles ne se reforment qu'après que l'on a exposé une nouvelle surface de zinc à l'action de l'acide. Le gaz obtenu est encore de l'hydrogène pur. Si l'on chauffe l'acide, il ne se développe pas de gaz de la surface de l'un des métaux jusqu'à ce que la température ait atteint 150° centigrades. En continuant à élever la température, des rayons de gaz s'élèvent du fil de platine; de 210 à 240°, il y a effervescence. Le dégagement de gaz n'a lieu que sur le platine.

M. Thomas Andrews a reconnu que le gaz dégagé sur la surface du platine diffère du gaz obtenu avec le zinc, par la petite portion d'hydrogène qu'il renferme, et dont la quantité diminue au lieu d'augmenter, à mesure que la solution avance.

(1) Trans. of the Royal Irish Academy. (1838)

Quand le zinc est en relation avec le platine, il se précipite une certaine quantité de soufre en cristaux ou en poudre très-fine; à une température élevée, il se dégage en vapeur.

L'or et le palladium donnent des résultats semblables. Pour s'assurer avec exactitude de l'influence retardatrice du platine, on a exposé en même temps, dans le même vase, à l'action du même acide, des portions semblables de zinc uni et de zinc non uni. Le platine fut placé de chaque côté du zinc et à la distance d'un quart de pouce; il présentait au liquide une surface qui était environ un tiers de celle du zinc.

N° DE L'EXPÉRIENCE	RAPPORT DE ZINC DISSOUS		TEMPÉRATURE
	uni	seul	
1	1	2,065	168° à 170 cent
2	1	2,155	203 à 206
3	1	2,347	231 à 233
4	1	3,000	238 à 240
5	1	3,208	242
6	1	1,478	250 à 270
7	1	1,335	265

A l'inspection de ce tableau, on voit que la plus grande différence dans la quantité de zinc dissous a lieu à la température de 242°, où l'action de l'acide est réduite à moins d'un tiers par le contact du platine.

M. Thomas Andrews a cherché ensuite si la distance des plaques de platine et des plaques de zinc n'exerçait pas une influence sur les effets produits; il a reconnu que l'action de l'acide sur le zinc augmente avec la proximité du platine, comme dans les circuits voltaïques ordinaires. Outre la distance, il a eu égard dans ses expériences à l'étendue de la surface de platine. Le tableau suivant donne les résultats obtenus en faisant varier et les distances et les surfaces :

Nº DE L'EXPÉRIENCE	DISTANCE entre le platine et le zinc	SURFACE de platine, zinc = 1	RAPPORT de la surface du platine	RAPPORT du zinc dissous	TEMPÉRATURE
1	1/8 de pouce	2,3 3,4	1 1,5	1 878	225°
2	1/8	4 12	1 3	1 690	230
3	1/8	1 4	1 4	1 872	225
4	1/2 pouce	1 7	1 7	1 920	220
5	3/5 de pouce	13 2	1 15	1 822	205
6	3/10	1 9	1 9	1 837	160

On voit par ces résultats que, bien que les variations dans l'étendue des surfaces, quand on les compare l'une à l'autre et à celle du zinc, soient très-considérables, néanmoins les quantités de zinc dissoutes ne présentent que de légères différences, et ne paraissent nullement influencées par les changements dans les surfaces de platine

Dans d'autres expériences, M Andrews a montré que l'augmentation des surfaces de platine tend à arrêter plus complétement l'action de l'acide sulfurique sur le zinc.

1458 Le fait suivant contraste avec les résultats précédents si l'on chauffe séparément du mercure et du platine dans de l'acide sulfurique concentré, jusqu'à ce qu'il se produise une faible effervescence sur la surface, et qu'on les mette ensuite en contact, il y a aussitôt une violente réaction chimique.

Ce fait est d'autant plus remarquable, qu'il paraît que l'influence de l'amalgamation et du contact avec le platine, dans la solution de zinc, est inverse dans une solution d'acide sulfurique concentré

1459. Les autres métaux qui peuvent décomposer l'acide sulfurique produisent des effets semblables : deux fils de fer semblables II' (fig 68) ont été placés dans un tube de verre contenant de l'acide sulfurique concentré ; I étant seul et I' uni avec un fil de platine plus fin. En chauffant le liquide il se dégageait en I une grande quantité de gaz, tandis qu'il n'y avait aucun dégagement en

P ou P' jusqu'à ce que la température fût portée à l'ébullition. Dans ce cas, il y avait une légère effervescence en P, et un faible dégagement de gaz sur P'. Avec l'étain les phénomènes se présentent avec l'acide froid comme avec le fer et le zinc. En élevant la température, il se dégage en même temps du gaz sur l'étain isolé et sur le platine. En chauffant l'étain uni et le platine dans un tube séparé, la quantité de gaz P devient très-considérable, mais beaucoup moindre que celle qu'on obtient auparavant sur la lame isolée.

Le bismuth ne donne pas de gaz dans l'acide froid. En chauffant, la surface du bismuth isolé se recouvre d'une pellicule de gaz, et bientôt après celle du bismuth uni. En continuant à chauffer, il se dégage du gaz du platine du bismuth isolé, mais en plus grande quantité sur ce dernier. Le bismuth uni n'en donne presque pas.

L'antimoine se comporte de même.

L'argent ne donne point de gaz à froid, mais en chauffant, l'argent isolé et l'argent uni s'obscurcissent presque en même temps. Dès l'instant que la chaleur s'élève, le gaz se dégage abondamment de l'argent isolé, et en plus petite quantité de l'argent uni et du platine.

Avec l'arsenic et le mercure, nulle action à froid. En chauffant l'acide, le dégagement de l'acide sulfurique paraît à peine diminuer, si toutefois il l'est, par l'union de ces métaux avec le platine. La quantité de gaz dégagé à la surface de platine est très-faible.

En résumé, nous voyons que le dégagement de l'hydrogène ne se présente, par l'immersion dans l'acide froid, qu'avec le zinc, le fer et l'étain. Les effets qu'on obtient avec un couple platine et zinc nous fournissent un exemple remarquable de la cessation d'actions chimiques par suite de l'état de polarisation qu'acquiert dans cette circonstance la lame de zinc. On ne peut s'empêcher de reconnaître dans ces phénomènes une analogie avec l'action de l'acide nitrique concentré sur le fer.

Avec le fer et le zinc, le dégagement de gaz est entière-

ment transporté de la surface de ces métaux sur celle du platine avec lequel ils sont en communication.

Avec le bismuth, l'antimoine, l'étain, il y a un faible dégagement de gaz sur la surface du métal qui est dissous; avec l'argent, la quantité de gaz est presque la même sur le platine et sur l'argent, tandis qu'avec l'arsenic et le mercure, le platine donne à peine un peu de gaz.

On obtient des résultats semblables avec l'acide nitrique; aussi M. Thomas Andrews n'a-t-il pas craint d'énoncer le principe suivant : l'action chimique ordinaire d'un oxacide sur les métaux qui s'y dissolvent, est, en général, diminuée quand l'acide est concentré, par l'association voltaïque de ces métaux avec des métaux, comme le platine, l'or, etc.; mais au contraire elle est augmentée quand l'acide est étendu.

§ IV. *Pile voltaïque construite d'après les principes exposés dans les chapitres Ier, etc.*

1460. L'interposition d'un diaphragme poreux entre deux liquides qui réagissent chimiquement l'un sur l'autre, est un puissant moyen de faire naître des courants électriques énergiques, capables de produire de grands effets de décomposition et de recomposition, comme j'en ai cité un grand nombre d'exemples dans le cours de cet ouvrage.

M. W. Grove s'est servi de ces mêmes diaphragmes pour étudier les courants électriques et construire une pile possédant une grande énergie électro-chimique. Il a cherché d'abord à expliquer le fait de la dissolution rapide de l'or dans l'eau régale, dissolution qui ne peut s'effectuer dans aucun des deux acides séparés. Le diaphragme dont il s'est servi est la tête d'une pipe à fumer, laquelle fut fixée au fond d'un petit verre avec du mastic; on versa dans la première de l'acide nitrique pur, et dans le verre de l'acide hydro-chlorique, au même niveau; deux feuilles d'or furent laissées pendant une

heure dans ce dernier acide, sans qu'elles eussent éprouvé la moindre altération. On plongea ensuite dans l'acide nitrique un fil d'or qu'on mit en communication avec l'une des feuilles de même métal; la feuille touchée fut aussitôt dissoute, tandis que l'autre ne fut pas attaquée.

Pour s'assurer s'il y avait endosmose et exosmose, M. Grove colora l'acide nitrique avec un peu de tournesol, quand la communication fut établie, l'acide hydrochlorique ne fut pas coloré. Une solution de nitrate de cuivre ayant été substituée à l'acide nitrique, l'effet fut semblable, seulement la dissolution d'or se fit lentement; mais il ne se fit aucun précipité sur le métal négatif.

Ces divers résultats montrent qu'aussitôt que le courant électrique, résultant de la réaction des deux acides l'un sur l'autre, à travers le diaphragme, est établi, ces deux acides sont décomposés : l'hydrogène de l'acide hydro-chlorique s'unit avec une portion de l'oxigène de l'acide nitrique, et le chlore attaque l'or. Dans la réaction des deux acides, l'acide nitrique prend l'électricité positive et l'autre acide l'électricité négative, il en résulte que la feuille ou le fil d'or qui se trouve dans l'acide hydro-chlorique est le pôle positif du couple voltaique.

M. Grove, frappé de cette action, qui était à prévoir d'après les effets produits par l'élément de ma pile à oxigène, eut l'idée qu'en substituant le zinc à l'or positif, on devait avoir une combinaison très-puissante; l'expérience est venue confirmer ses prévisions. En effet, une seule petite paire consistant en une lame de zinc amalgamé, d'un pouce de long et d'un quart de pouce de largeur, un cylindre de platine de trois quarts de pouce de hauteur, la tête d'une pipe à fumer et un peu d'acide composent un élément voltaique qui décompose facilement l'eau acidulée avec l'acide sulfurique. Dans cette combinaison, l'action est constante, et il n'y a aucun précipité sur chacun des métaux.

En substituant une solution de potasse pure à l'acide hydro-chlorique, c'est-à-dire en prenant l'élément de la pile à courant constant que j'ai décrite précédemment,

l'action a été également puissante. Le premier arrangement, suivant M. Grove, est préférable à celui-ci, en raison de la cristallisation du nitrate de potasse qui, s'effectuant dans les pores de la terre de pipe, obstrue ou fait briser le diaphragme.

L'acide nitrique concentré et l'acide sulfurique étendu de 5 ou 6 parties d'eau peuvent être employés avec avantage, sans craindre d'attaquer le platine; seulement il faut avoir l'attention que l'acide nitrique soit toujours concentré, car dès l'instant que cet acide a perdu une quantité telle de son oxigène que l'hydrogène, au lieu d'être absorbé, soit dégagé sur la surface du platine, l'action s'abaisse et n'est plus constante.

M Grove a disposé une pile ronde, n'ayant que 4 pouces de diamètre et 1 pouce $\frac{1}{4}$ de hauteur et composée de 7 petits verres avec pareil nombre de têtes de pipes, présentant en tout une surface de 20 pouces carrés. Quand cette pile est convenablement établie, elle donne à peu près 1 pouce cube de gaz par deux minutes, et paraît avoir autant de force qu'une pile ordinaire de 50 ou 60 éléments.

J'ai formé avec M. Grove une pile de ce genre avec douze éléments, composés chacun d'une lame de zinc amalgamé de 1 décimètre de haut et de 6 centimètres de largeur, et d'une lame de platine de mêmes dimensions. Les liquides employés étaient de l'eau salée et de l'acide nitrique concentré. Le zinc plongeait dans la première et le platine dans l'acide. Le diaphragme était un cylindre de porcelaine légèrement cuite et non enduite d'une couverte. Les effets de déflagration produits avec cette pile avaient une grande énergie, ainsi que les effets de décomposition

CHAPITRE III.

PILE A COURANT CONSTANT DE M. DANIELL.

§ I^er. *Premières dispositions.*

1461. Les principes exposés précédemment ont montré que pour obtenir des courants constants avec des appareils voltaïques, il était nécessaire de mettre le zinc et le cuivre, chacun, dans une case particulière, de séparer les deux cases par une membrane transmettant le courant, et de mettre dans chacune d'elles un liquide capable d'empêcher les produits secondaires de se former sur les lames, d'où résultent des courants en sens inverse, qui affaiblissent à chaque instant l'action du courant primitif.

Les choses en étaient là lorsque M. Daniell a repris la question, qu'il a analysée avec sagacité. Ses recherches (1) l'ont mis à même de doter la science d'une pile construite d'après les principes précédents, et qui est aujourd'hui généralement adoptée dans les expériences de physique.

Je vais commencer par exposer les premières recherches que ce physicien a faites à ce sujet, parce qu'elles l'ont conduit à des résultats intéressants.

abcd (fig 69) représente un pied de verre, dans lequel se trouve une cavité *efgh*, dont la partie supérieure est terminée par un plan d'arrêt *gh*. Les tiges de

(1) Trans. philos. 1836

deux plaques *dd*, *lmn*, traversent ce plan, puis la partie inférieure de la cavité est divisée en deux cellules par la cloison *op*. Les deux cellules contiennent du mercure, dans lequel plongent les fils respectifs. Cet arrangement permet de changer facilement les plaques; d'un autre côté, elles peuvent être mises en communication entre elles, ou avec les plaques d'autres cellules semblables, au moyen des fils *pq*, passant par des ouvertures latérales *tu*. On adapte au socle de verre qui châssis également le verre *vx*, *yz*, afin d'avoir une cellule pour recevoir le liquide. Un tube de verre gradué AB peut être suspendu au-dessous de l'une ou l'autre plaque, au moyen d'une pièce de cuivre ajustée comme on le voit dans la fig. 70, qui représente un appareil circulaire de dix cellules semblables à celle dont je viens de donner la description. Des coupes de mercure *ghi* permettent d'établir les communications comme on le veut.

La fig. 71 représente la section d'une cellule disposée pour le même objet, mais d'une construction moins dispendieuse; cette cellule est supportée par une table perforée *uwyz*, et les tiges des plaques passent par l'obturateur, ou instrument d'arrêt *abcd*, pour se rendre dans les coupes extérieures de mercure *o*, *p*, au moyen desquelles on peut établir toutes les communications.

Les plaques employées sont de platine et de zinc amalgamé, ayant chacune 3 pouces de long sur 1 po. de large; et le liquide interposé est un mélange de 100 vol. d'eau et de 2 $\frac{1}{2}$ vol. d'acide sulfurique, qui est presque sans action sur le zinc amalgamé.

On ajoute à l'eau acidulée une petite quantité d'acide nitrique; la plaque de zinc amalgamé est dissoute en quelques heures sans dégagement d'hydrogène quand le circuit est fermé.

1462. Voyons les principaux résultats obtenus avec cette pile, chargée, comme on vient de le dire, avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et une petite quantité d'acide nitrique. La plaque amalgamée prise isolément, comme on le savait déjà, ne donne lieu à aucun

dégagement de gaz, tandis que le dégagement est très-abondant quand la communication est établie avec la lame de platine correspondante. Si l'on prend deux éléments et que l'on mette en rapport les deux plaques de zinc d'une part, et les deux plaques de platine de l'autre, on n'observe aucun effet, et cela par suite de la production de deux courants en sens contraire. En substituant à la seconde cellule une autre cellule chargée avec une solution d'iodure de potassium, dans laquelle se trouve de l'amidon en suspension, les deux courants, dirigés en sens inverse, n'ayant pas la même intensité, il en résulte des effets dus à la différence des deux intensités; il se précipite alors sur la lame de zinc amalgamé de l'iode, dont la présence est indiquée par la couleur bleue que prend l'amidon. Cette expérience prouve, d'une manière évidente, comme j'en ai déjà donné mille exemples, qu'il n'est pas nécessaire du contact de deux métaux différents pour obtenir un courant électro-chimique.

En faisant fonctionner tous les couples réunis, chargés avec de l'acide sulfurique, dans les proportions indiquées ci-dessus, on trouve que la somme d'action de chacun d'eux, évaluée par la quantité d'hydrogène recueillie dans chaque électromètre voltaique, pendant des temps égaux, n'est pas la même, bien que tout soit semblable de part et d'autre. La différence entre la plus grande et la plus petite quantité est d'environ un tiers. Cette inégalité peut provenir de différences dans les distances des plaques ou dans les surfaces amalgamées. En les réunissant ensemble, dans une seule série circulaire, chaque plaque donne alors la même quantité de gaz; cette quantité est plus faible que celle que l'on obtient dans la cellule où on avait eu le minimum d'effet.

Pour faire ces deux expériences, on réunit d'abord toutes les plaques de platine au moyen de fils de même métal qui se rendent dans une capsule centrale et remplie de mercure, et toutes les plaques de zinc avec des fils passant dans un anneau de même métal, fixé dans la coulisse *abcdef*; puis l'on établit la communication entre les deux

systèmes au moyen d'un fil de métal; il y a dégagement de gaz dans toutes les cellules. L'inégalité d'action se montre comme lorsque les couples agissaient séparément. Cet arrangement transforme évidemment la pile en un appareil composé d'un seul élément.

Mettant à part les inégalités d'action, on trouve que les cellules, dans les deux cas, produisent et dépensent la même quantité de force; mais quand elles sont réunies en séries, le fil de communication ne transporte pas d'une cellule à l'autre plus que la quantité fournie par la première, comme l'a démontré M Delarive; tandis que dans le circuit simple, la quantité entière produite dans les cellules doit passer à travers le fil central de communication. Dans ce dernier cas, la quantité peut se manifester par une élévation de température, dans un fil fin de platine placé dans le circuit. Quant à l'intensité de la force qu'on trouve dans le premier cas, et qui dérive des impulsions répétées de la disposition en séries, elle se manifeste par des étincelles dans les solutions de continuité du conducteur, tandis qu'une quantité dix fois plus considérable est arrêtée par la plus faible solution de continuité dans le circuit simple Ces faits ont déjà été remarqués depuis longtemps dans l'étude comparative qui a été faite des piles à grand et à petit nombre d'éléments

1463. En combinant les cellules par paires, et mettant en connexion deux plaques de platine et deux plaques de zinc, puis les cinq paires en séries, au moyen de fils allant de chaque paire de zinc à la paire voisine de platine, la quantité de gaz recueillie dans chaque électromètre voltaique est la même. Elle n'excède que de très-peu celle de l'appareil en séries simples. L'arrangement équivaut à une série de cinq plaques de dimension double de la dimension primitive, et la quantité d'électricité qui circule est déterminée par la paire la moins efficace; en conservant une paire de cellules réunies, et séparant les autres afin de les faire agir en séries simples avec elles, l'effet est celui d'une

plaque de dimension double, interposée dans un circuit composé de huit paires simples. Dans ce cas, le gaz recueilli dans chacun des électromètres voltaïques de la double cellule est exactement la moitié de celui des électromètres voltaïques des cellules simples.

L'effet régulateur des séries voltaïques, qui égalise toutes les irrégularités de ses éléments, montre que le courant qui circule doit être uniforme dans son cours.

Pour trouver les effets de retard des diverses cellules sur les éléments de la batterie, on réunit ensemble les cellules en séries simples, en substituant une plaque de platine à une plaque de zinc; l'obstacle réagit alors sur toute la série; l'action est réduite de plus d'un tiers, et la quantité de gaz recueillie dans chaque cellule génératrice est égale à la quantité d'hydrogène recueillie dans la cellule de retard. En opérant un changement semblable dans la cellule suivante, la quantité d'hydrogène, dans tous les électromètres voltaïques, est égale, mais réduite à un peu moins de $\frac{1}{10}$, et le courant est tout à fait arrêté par trois cellules de retard dans les sept cellules génératrices.

Lorsqu'on enlève une des plaques de zinc des séries régulières, et qu'on la remplace par une plaque de platine recouverte d'une couche de cuivre au moyen de la décomposition électro-chimique d'un sel de cuivre, on obtient les effets suivants : aucun dégagement de gaz n'a lieu sur la plaque recouverte de cuivre; ce dernier s'oxide lentement, l'oxide se dépose graduellement, et l'on voit reparaître la surface de platine, puis des bulles de gaz oxigène.

1464. Opérons maintenant avec le système fig. 71. Les deux plaques de platine *ij*, *lm* communiquent ensemble avec une coupe de mercure *p*, tandis que la plaque de zinc interposée est en relation avec l'autre coupe *o*. Cet arrangement est le même que celui d'un couple de la batterie à la Wollaston. En combinant les cellules ainsi disposées en séries simples, on recueille presque autant de gaz de chacun des côtés opposés aux plaques généra-

trices qu'on en avait recueilli, dans un temps égal, d'une plaque seule ; dans ce cas, la double surface du platine permet à la plaque de zinc de décomposer presque une double quantité d'eau.

Dans ces dernières expériences, les bulles d'hydrogène se dégagent de chacune des deux faces de chaque lame.

1465. M. Daniell a eu occasion de remarquer fréquemment, comme on le savait déjà, dans le cours de ses recherches, que l'hydrogène et les autres gaz qui adhèrent aux électrodes exercent une grande influence sur l'action chimique, et, par suite, sur l'intensité du courant. Il considère la matière gazeuse comme s'étendant d'elle-même sur le métal, comme le fait une goutte d'huile volatile que l'on répand sur une large surface d'eau. Il ne lui paraît pas impossible, et je partage son opinion à cet égard, que l'efficacité des plaques conductrices des appareils voltaïques puisse dépendre en partie, sinon entièrement, de l'étendue de surface qu'elles présentent pour cette diffusion du gaz Pour s'assurer jusqu'à quel point cette conjecture était fondée, il a réduit la largeur des plaques de zinc dans la batterie, en les partageant d'abord en deux, et diminuant ensuite leurs dimensions de manière à n'avoir plus que des fils amalgamés de $\frac{1}{8}$ de pouce de diamètre et de trois pouces de long ; il a trouvé que, dans ce dernier cas, ces fils étaient aussi efficaces que des plaques larges d'un pouce, et que, sous leur influence, les plaques conductrices dégageaient autant de gaz, dans d'égales portions de temps, que lorsqu'on les unissait avec des surfaces génératrices plus grandes.

1466. Il était important de reconnaître quelle différence il y avait, sous le rapport de l'intensité de l'action chimique, entre le zinc ordinaire et même le fer et le zinc amalgamé. En substituant des plaques de zinc ordinaire aux plaques de zinc amalgamé, on obtient les résultats suivants : avec des plaques de zinc ordinaire, lorsque l'action chimique est très-forte seulement, il se dégage autant de gaz du platine que lorsque celui-ci est combiné avec le zinc amalgamé.

Avec le fer, son action dans la batterie est presque nulle ; une faible action locale a lieu sur les plaques elles-mêmes, mais le dégagement de gaz sur le platine est à peine sensible. Si l'on remplace les plaques de platine par des lames de zinc amalgamé, les plaques de fer se comportent comme celles de platine, qu'elles surpassent en efficacité La quantité de gaz recueillie dans les électromètres voltaïques en séries est presque double de celle de la batterie dans son état normal.

Cette expérience ayant été répétée avec des plaques nouvelles de fer, l'effet fut moindre, il en résulte que l'accroissement d'action doit être attribué à ce que les plaques de fer avaient été préalablement mises en opposition avec les plaques de platine.

1467. Voyons actuellement les effets produits quand on modifie la composition du liquide interposé : en ajoutant à l'eau acidulée un volume d'acide nitrique égal à celui de l'acide sulfurique, la quantité d'hydrogène dégagée dans les cellules est diminuée, et son dégagement est irrégulier.

Ayant substitué à l'une des cellules un électromètre voltaïque composé de deux lames de platine en relation avec le système, la quantité d'hydrogène qu'il indiquait dans les premiers instants, était presque triple de celle de la batterie dans son état normal; mais l'action diminuait rapidement dans l'espace de cinq minutes. En rompant la connexion avec le circuit, cette énergie revenait en partie, pendant la cessation très-courte de l'action; il en était encore de même en retournant l'électromètre voltaïque Si l'on ajoutait de l'acide nitrique au liquide, le dégagement de l'hydrogène s'arrêtait quelquefois dans une des cellules, tandis que dans d'autres il continuait dans une proportion faible et inégale L'intensité du courant augmentait en même temps, et diminuait rapidement à mesure que l'action continuait.

Pour remonter à la cause de ces variations, M Daniell a laissé la batterie s'épuiser d'elle-même, pendant trente heures ; au bout de ce temps, il se dégageait à peine

quelques bulles de gaz dans l'électromètre voltaïque. Les plaques de platine ayant été enlevées, on leur en substitua de nouvelles, et la communication fut rétablie; l'action recommença presque avec la même activité qu'en premier lieu; seulement l'abaissement fut plus rapide que dans le premier cas. En opérant avec des lames de fer au lieu de lames de platine, le renouvellement de l'action eut encore lieu.

Cette diminution dans l'action provenait de l'état des surfaces des plaques de platine Celles-ci ayant été polies avec de la pierre ponce, puis chauffées jusqu'au rouge, et plongées ensuite dans une forte solution de potasse, on n'obtenait aucun effet. Elles ne recouvraient leurs propriétés qu'après avoir été mises en contact avec les acides nitrique ou hydrochlorique bouillants.

Les plaques de platine qui ont fonctionné pendant longtemps ont leurs surfaces remplies d'aspérités, comme si le métal avait été corrodé; mais il est facile de reconnaître que ces aspérités sont dues à un dépôt de zinc métallique qui tend à produire un effet en sens contraire; lorsque la batterie fonctionne pendant longtemps, la couche de zinc se détache en lames.

1468. Si, dans la solution, il y a un oxide de cuivre, il est précipité, préférablement à l'oxide de zinc; les plaques qui sont recouvertes du premier métal sont, jusqu'à un certain point, protégées contre le dépôt du dernier En ajoutant néanmoins au liquide des cellules une grande quantité de sulfate de cuivre, malgré l'amalgamation du zinc, il y a une action locale assez forte sur ce métal pour que le cuivre commence à s'y précipiter.

Dans ces expériences, l'effet désoxidant de l'hydrogène, d'où résulte un dépôt métallique, nuit évidemment à la force de circulation du courant, surtout lorsque ce dépôt a une forte affinité pour l'oxigène de l'électrolyte. Si donc l'on parvient à enlever l'hydrogène, au moyen de combinaisons qui ne donnent pas naissance à de semblables précipités, on facilite évidemment la

circulation et la permanence du courant; l'addition de l'acide nitrique à la charge de la pile produit de bons effets, puisqu'il enlève l'hydrogène.

Il est bien certain que l'oxigène de cet acide, et même l'azote, agissent comme déshydrogénants; car si l'on neutralise avec du carbonate de soude la charge épuisée de l'une des cellules, on obtient non-seulement abondamment de l'ammoniaque par la chaux, mais encore un fort précipité de chlorure ammoniaco de platine, avec une solution de chlorure de ce métal.

§ II. *Pile à courant constant.*

1469 Les effets secondaires dont il a été question dans le paragraphe précédent empêchent d'obtenir des effets constants avec des piles ordinaires; c'est ce motif qui a engagé M. Daniell à construire la pile dont je vais donner la description.

La fig. 72 représente la coupe d'une cellule dont la réunion au nombre de dix constitue la batterie (fig. 73). *a b c d* est un cylindre de cuivre de 6 pouces de haut et de 3 pouces ½ de large. Il est ouvert à sa partie supérieure *a b*, et fermé à sa base, à l'exception d'une partie *e f* de 1 pouce ½ de large, destinée à recevoir un morceau de liége auquel est adapté un tube de verre à siphon *g h i j k*.

Au sommet *a b*, deux supports horizontaux soutiennent un goulot de cuivre correspondant avec celui du bas. Avant de mettre en place le liége à travers lequel passe le tube à siphon, on fait passer par le col inférieur *e f* un tube membraneux, formé avec une partie d'estomac de bœuf, et on l'attache avec un fil retors à l'ouverture supérieure *l m n o*. Il résulte de cet arrangement une cavité intérieure, communiquant avec le tube à siphon de telle manière que lorsqu'on la remplit d'un liquide jusqu'au niveau *o m*, la moindre addition de liquide le fait couler par l'ouverture *k*. Il peut donc s'échapper par là autant de gouttes qu'il en arrive par en

haut. *p*, *q* est une lame de zinc fondu amalgamé, de six pouces de haut et d'un demi-pouce de large; elle est supportée sur le bord de l'ouverture supérieure par une planche de bois *r s*, passant par un trou foré à son extrémité supérieure; *t* et *u* sont des coupes remplies de mercure destinées à établir la communication avec les différentes cellules au moyen de fils métalliques.

Dans la fig. 73, les dix cellules sont réunies en simples séries; le zinc de l'une communique avec le cuivre de la suivante, ainsi de suite; ces cellules reposent sur une petite table circulaire dans laquelle sont pratiquées des ouvertures pour les tubes à siphon qui dégorgent dans un bassin placé au-dessous, un entonnoir plus petit repose au-dessus de la cavité intérieure de chaque cellule.

Cette disposition est absolument la même que celle qui a été décrite plus haut (1461). En l'adoptant, M. Daniell a eu pour but d'enlever du circuit intérieur l'oxide de zinc qui nuit à l'action de la batterie, aussitôt que sa solution se forme, et d'absorber l'hydrogène dégagé sur le cuivre sans la précipitation d'aucune substance capable de détériorer ce métal.

La première condition est remplie en suspendant la lame de zinc dans la cellule membraneuse intérieure, où de l'eau acidulée tombe lentement de l'entonnoir supérieur, tandis que la solution plus pesante qui se forme sort en même proportion par le tube à siphon. Quand les deux cellules sont chargées avec la même dissolution acide, et que la communication est établie entre le zinc et le cuivre, au moyen d'un fil de platine de $\frac{1}{100}$ de pouce de diamètre, le fil s'échauffe au rouge, et la membrane humide ne présente point d'obstacle au passage du courant.

La seconde condition s'obtient en remplissant l'espace extérieur d'une solution saturée de sulfate de cuivre au lieu d'une dissolution acide. Le courant circule lentement, et le cuivre réduit par l'hydrogène se précipite sur le cylindre de cuivre

Lorsque la batterie est montée, il ne se dégage pas de

gaz sur aucune des plaques; mais si l'on introduit un électromètre voltaïque dans le circuit, il y a une action très-énergique, qui est plus permanente que celle de la batterie ordinaire, mais qui va en diminuant graduellement. Cet effet ne peut provenir que de l'affaiblissement de la solution de sulfate de cuivre, qui est décomposée peu à peu par le courant.

On obvie à cet inconvénient en suspendant du sulfate de cuivre solide dans de petits sacs de mousseline qui plongent un peu au-dessus de la surface de la solution dans les cylindres. Ce sulfate, en se dissolvant à mesure que la précipitation du cuivre a lieu, maintient la solution dans un état de saturation. Depuis, le sel a été placé dans un tamis de cuivre perforé, fixé à l'ouverture supérieure. Au moyen de cet arrangement, le courant reste constant pendant plusieurs heures. La fig. 74 représente une coupe de l'appareil additionnel : *acfh* est le tamis, *b d e g* l'orifice central qui repose par un petit rebord sur les côtés du cylindre; la membrane est placée autour des bords du goulot et fixée avec du fil.

En chargeant d'abord l'appareil avec la solution précédemment indiquée, on trouve, après qu'elle a fonctionné pendant dix minutes, que la quantité moyenne de gaz mêlés, recueillie dans l'électromètre voltaïque, pendant cinq minutes, est de 2, 1 pouces cubiques, les résultats ne varient que de 0,1.

Les expériences ont été faites avec la solution de sulfate de cuivre dans la cavité extérieure des cellules, et en doublant la force de la solution acide dans la cavité intérieure. La quantité moyenne de gaz dégagée dans l'électromètre voltaïque a augmenté jusqu'à 3, 8 pouces cubiques, pour cinq minutes. L'électromètre ayant été retiré du circuit, puis le circuit refermé de nouveau, et l'électromètre replacé, le résultat a été le même. L'addition d'acide nitrique à la solution de sulfate réduisait de nouveau le rapport à 2, 1 pouces cubiques.

1470. On a remarqué qu'à la première immersion du zinc, l'effet de la batterie est toujours un peu plus

élevé que lorsqu'il est bien fixe. Il pourrait se faire que cet effet dépendît du dégagement d'une petite quantité d'hydrogène provenant d'une action locale sur le zinc, laquelle adhérant à la surface s'opposerait faiblement à l'action de l'acide.

Les résultats qui suivent, obtenus dans une série d'expériences, prouvent que cette action est faible Les dix tiges de zinc pesaient 2 livres $\frac{1}{4}$ et 13 grains (15763 grains). La force de l'acide a été triplée en ajoutant 6 $\frac{3}{4}$ mesures d'acide sulfurique à 100 mesures d'eau. Outre l'électromètre dont j'ai déjà parlé, on a fait usage d'un grand électromètre voltaïque dont les plaques avaient 3 pouces sur 1.

GRAND ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE			
TEMPS	QUANTITÉ DE GAZ en pouces cubiques	MOYENNE par quart d'heure.	MOYENNE par cinq minutes
h m 11 24			
11 39	16	16	5,3
11 45			
11 60	30	14	4,6
12 3			
12 18	44	14	4,6
12 19			
12 34	58	14	4,6
12 49	71	13	4,3
PETIT ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE			
12 51			
12 56			4,0
12 58			
1 3			4,0
HYDROGÈNE ENLEVÉ PAR L'AGITATION DES TIGES			
1 6			
1 11			4,9

GRAND ÉLECTROMÈTRE VOLTAIQUE.

TEMPS	QUANTITÉ DE GAZ en pouces cubiques	MOYENNE par quart d'heure	MOYENNE par cinq minutes
1 16			
1 29.	85	14	4,6
1 31			
2 1	27	13,5	4,5
2 31	54	13,5	4,5
3 1	52	14	4,5

La quantité de gaz mêlés qu'on a recueillie s'élevait à 186 pouces cubiques, ou à 188,68, avec la correction de la pression Les tiges de zinc enlevées des cellules, lavées et séchées, avaient perdu 93,3 grains.

Or, la quantité de zinc équivalente à 188 pouces cubiques du mélange de gaz était de 86,1 grains; la différence 7,2 provenait probablement de la petite quantité d'amalgame tombée des lames

Or, pour cette quantité de zinc, 166,5 grains de cuivre ont dû être précipités sur chaque cylindre de cuivre. En examinant les cellules après l'expérience, on a trouvé le cuivre précipité non-seulement sur le cylindre, mais encore à la surface intérieure des tamis, ainsi que dans plusieurs parties de la membrane.

1471. En cherchant à améliorer le pouvoir conducteur du liquide, M. Daniell a trouvé qu'en employant de l'acide sulfurique quatre fois plus fort, le résultat était très-ferme, et que pendant cinq minutes le grand électromètre fournissait 5,0 pouces cubiques de gaz.

Enfin il a voulu comparer ensemble les effets de la batterie constante avec une batterie à auges, composée de dix plaques à la Wollaston, de quatre pouces carrés. La charge a été opérée avec un mélange de 100 pouces d'eau, 2 $\frac{1}{4}$ d'acide sulfurique et 2 d'acide nitrique, et on a mis dans le circuit le petit électromètre voltaique.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus pendant des intervalles de cinq minutes :

TEMPS	QUANTITÉ de gaz, pouces cubiq	MOYENNE pour 5 minutes, pouces cubiques	TEMPS	QUANTITÉ de gaz, pouces cubiq	MOYENNE pour 5 minutes, pouces cubiques
h m			h m		
10 22			11 19	électromètre rempli	
10 27	2,5	2,5	11 24	1,3	1,3
10 32	4,6	2,1	11 29	2,2	0,9
10 34	électromètre rempli		11 34	3,0	0,8
10 39	2,6	2,6	11 39	3,55	0,55
10 44	4,4	1,8	11 44	4,1	0,55
10 46	électromètre rempli		11 49	4,5	0,4
10 51	2,8	2,8	11 54	4,9	0,4
10 56	4,9	2,1	11 59	5,25	0,35
10 57	électromètre rempli		12 0	électromètre rempli	
11 2	2,4	2,4	12 15	0,9	0,3
11 7	4,2	1,8	12 30	1,7	0,26
11 8	électromètre rempli		12 45	2,25	0,26
11 13	1,8	1,8	1 0	2,75	0,25
11 18	3,2	1,4	1 59	batt. laissée en communic.	
11 19	électromètre rempli		2 13	0,1	0,03

Ces résultats montrent d'une manière frappante les irrégularités particulières de la batterie voltaique ordinaire.

En résumé, voici les avantages de la pile à courant constant :

1° Abolition de toute action locale irrégulière, par suite de la présence du mercure sur le zinc.

2° Faible dépense du remplacement des lames de zinc quand elles sont usées, et absence totale de toute perte de cuivre.

3° L'inutilité de l'emploi d'acide nitrique et substitution du sulfate de cuivre à l'acide sulfurique.

4° Facilité et perfectionnement des communications métalliques entre toutes les parties de la pile.

1472. On a vu que les plaques d'un électromètre larges de six huitièmes de pouce dégageaient la même

quantité de gaz que deux plaques de platine d'un pouce de large et de même hauteur, mises dans une cellule de la batterie. Les résultats obtenus avaient montré aussi qu'il n'y avait pas de différence entre les indications du petit et du grand électromètre, dont les plaques avaient trois pouces sur un, et qu'il en était encore de même quand les distances des plaques de zinc et de cuivre variaient.

Dans une autre série d'expériences, les plaques de l'électromètre voltaïque ont été réduites à $\frac{1}{2}$ de pouce de largeur, en conservant la hauteur de 3 pouces; la quantité de gaz recueillie a encore été la même, ainsi qu'avec des fils de $\frac{1}{10}$ de pouce de diamètre. La moyenne, en 5 minutes, était de 2,7 pouces cubiques. En recouvrant les fils d'un enduit résineux, de manière à ne laisser que $\frac{1}{2}$ de pouce d'exposé au liquide, les gaz dégagés dans le même temps s'élevaient à 2,3 pouces cubiques. En recouvrant en entier les fils de cet enduit, et ne mettant seulement à découvert quelques points extrêmes, on obtenait encore 0,8 de pouce cubique. Cette indépendance des résultats obtenus sur les surfaces métalliques de l'électromètre voltaïque contraste avec l'influence de la surface des plaques conductrices des cellules de la batterie.

On s'est assuré aussi qu'après une action non interrompue de cinq heures, sans renouvellement d'acide, le voltamètre n'indiquait qu'un abaissement de 2,7 à 2,4.

La batterie ayant fonctionné pendant 24 heures, on recueillait encore 0,9 de pouce cubique en un quart d'heure, ou 0,3 en cinq minutes. On a trouvé alors que l'acide était presque entièrement saturé; en versant dans le liquide de chaque cellule $\frac{1}{4}$ d'once d'une dissolution acide fraîche (la charge totale de chaque cellule était d'environ 5 $\frac{1}{2}$ onces), l'action non-seulement s'élevait à 2,7 pouces cubiques, mais encore à 4,2 pouces, après quoi l'action restait constante pendant plusieurs heures. Cet accroissement d'action doit être rapporté à la supériorité du pouvoir conducteur de la solution.

La batterie a été ensuite chargée avec un acide de la même force que celui qui avait été employé dans les électromètres voltaïques, c'est-à-dire avec un mélange de 8 parties d'eau et d'une partie d'acide sulfurique, dans ce cas, on a obtenu une action constante de 11 pouces cubiques en 5 minutes; au moyen de ce mélange, il s'est formé 25 grains d'oxide de zinc, et il y a eu 154 grains de sulfate de cuivre décomposés dans chaque cellule, pendant une heure. La batterie néanmoins est restée constante sans qu'on ait eu besoin de changer d'acide.

1473. Le grand avantage que l'on avait obtenu en doublant la surface de cuivre a porté à s'assurer si l'on pouvait l'étendre davantage; on a adapté à cet effet dans plusieurs cellules dix petites plaques d'un pouce, de manière à avoir une surface de cuivre trois fois plus considérable que celle de l'élément; mais l'expérience n'a rien donné de bien satisfaisant relativement aux avantages qu'on pourrait avoir en donnant de l'extension à la surface de cuivre.

Ces expériences conduisent seulement à la conclusion, que la combinaison voltaïque la plus parfaite consisterait en une sphère solide de zinc entourée d'une sphère creuse de métal conducteur, avec une couche perpétuellement renouvelée de la solution interposée et un fil conducteur protégé contre la solution. Dans ce cas, la résistance de la solution augmenterait directement comme les distances des deux sphères; tandis qu'en supposant cette résistance vaincue, la quantité de forces mise en circulation augmenterait comme le carré de cette distance depuis le centre, ou comme la surface de la sphère extérieure

§ III. *Influence de la chaleur sur l'action de la pile à courant constant.*

1474. Nous avons vu que lorsque la pile était chargée avec un mélange de 8 parties d'eau et d'une partie d'acide sulfurique du côté zinc, et une solution saturée de sulfate de cuivre du côté cuivre, on obtenait 11 pouces cu-

biques de gaz mêlés en 5 minutes, mais si l'on dissout le sulfate dans l'eau acidulée, la quantité de gaz augmente d'abord de 11 pouces à 13 pouces, puis successivement, comme on le voit dans la série suivante d'observations :

TEMPS	INTERVALLE.	POUCES CUBIQUES de gaz
h m		
11 0	»	»
11 5	5	13
11 10	5	26
11 15	5	39
11 20	5	52

En ajoutant une partie d'acide sulfurique à 8 parties de la solution saturée de sulfate, et versant immédiatement dans les auges le liquide dont la température est d'environ 50° centig., on obtient les résultats suivants, qui montrent le grand accroissement d'action dû à la chaleur, et sa diminution rapide avec l'abaissement de la température :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE pouces cub	MOYENNE de 5 min pouces cub
h m			
12 52	»	»	»
12 54	2	8,8	22
12 59	»	»	»
12 61	2	8	20
1 3	»	»	»
1 5	2	7,3	18,2
1 7	»	»	»
1 9	2	7	17,5
1 11	»	»	»
1 13	2	6,5	16,2
1 14	»	»	»
1 16	2	6	15
1 17	»	»	»
1 19	2	5,7	14,2
1 21	2	4,8	12

L'influence de la température sur l'action électro-chimique de la pile est bien établie par ces résultats. M. Daniell a déterminé ensuite l'effet particulier de différentes charges, en ayant égard à cette influence. Ayant versé une solution aqueuse de sulfate de cuivre dans les cellules extérieures, et de l'eau dans la cellule intérieure, il n'y eut pas de décomposition; la température était alors de 23° 33 cent. Quand l'eau fut chauffée à 37° 78, la décomposition commença; il se produisait 0,6 pouce cubique par cinq minutes; l'électromètre ayant été chauffé lui-même jusqu'à 47°, on obtint les résultats suivants :

TEMPS	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE pouces cub	MOYENNE de 5 min pouces cub
h m			
11 21			
11 26	5'	0,8	0,8
11 31	10	1,6	0,8
11 31	30	5	0,8

En versant une solution de sel ammoniac dans la proportion de deux livres de sel pour un gallon d'eau (4 litres environ), dans les cellules intérieures, et une solution aqueuse de sulfate de cuivre dans les cellules extérieures, on a eu :

	pendant 5 minutes.
	pouces cub.
à 23,33° hors de l'eau............	5,5
à 34,44 dans l'eau..	8,8
à 51,12 dans l'eau.....	12,5

Une solution saturée de sel commun ayant été mise en contact avec le zinc et une solution saturée de sulfate de cuivre avec le cuivre, on a obtenu les résultats suivants à la température de 21° 11 centigrades.

TEMPS	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE pouces cub	MOYENNE de 5 min pouces cub
h m			
11 11			
11 15	4	35	43
11 19	8	50	3
11 23	12	80	20
11 27	16	99	23
11 31	20	11,6	21
11 34			
11 54	20	4	40

On a mis ensuite dans chaque cellule intérieure une once d'acide hydro-chlorique liquide, et l'action n'a été qu'à 2,7 pouces cubes, par 5 minutes. On voit par là que la substitution des solutions de chlorures à l'acide sulfurique n'est point avantageuse. Avec ces solutions, lorsque le circuit est interrompu, le cuivre est attaqué, ce qui est un grave inconvénient

1475. Pour combattre l'influence des hautes températures, les tubes membraneux ont été remplacés par des vases cylindriques de terre poreuse.

Ces vases cylindriques sont fermés à leur extrémité inférieure; leur diamètre est d'un pouce et demi, et leur hauteur est la même que celle des cellules de cuivre Au fond se trouvent des rainures, dans lesquelles on place les tubes afin de les maintenir dans une position convenable, les plaques de cuivre sont perforées en tamis pour recevoir le sulfate de cuivre solide reposant sur leur extrémité supérieure. Ces tubes peuvent être facilement enlevés et replacés, et la facilité avec laquelle on les vide rend inutile l'emploi des siphons.

Il faut éviter de laisser cristalliser le sulfate du cuivre dans les pores de la terre, afin de ne pas briser les vases.

La conductibilité n'est pas aussi parfaite à travers cette terre qu'à travers les membranes; mais en employant le sulfate de cuivre, on obtient encore de 7 à 8 pouces cubes de gaz par minute, ce qui est bien suffisant pour les expériences ordinaires. Son action en outre est parfaite-

ment constante et soutenue, ce qui est un avantage précieux pour les recherches qui exigent de la précision.

La batterie ayant été préparée, comme on vient de le dire, on a pris un vase circulaire d'étain, destiné à fournir de la vapeur, et autour duquel on a placé les cellules sur des morceaux de bois, ces cellules ont été recouvertes de manière à pouvoir être mises à volonté en contact avec le tuyau d'une chaudière. Deux autres couvercles à trous furent aussi placés convenablement et arrêtés avec des morceaux de liége, disposés pour laisser passer les lames décomposantes quand le contact était établi. Voici les résultats qu'on a obtenus avec une série de 9 cellules :

Dès l'instant que la vapeur a commencé à entrer, l'énergie de la batterie fut augmentée, et, à la température de 27°, 78, son action fut presque doublée En effet,

TEMPS	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE, pouces cub	MOYENNE de 5 m, pouces cub	TEMPÉRATURE °
h m				
10 0	1			
10 5	5	7,5	7,5	58
10 10	10	15	7,5	58
La vapeur introduite				110
10 25				
10 30	5	9	9	170
10 35	10	20,5	11,5	195
10 40	15	37	16,5	200
10 41				
10 45	5	10	10	205

Pour s'assurer si l'augmentation était due à un simple accroissement du pouvoir conducteur, ou bien à l'énergie de l'action chimique, on a fait fonctionner la batterie en introduisant dans son circuit un électromètre plongeant dans l'eau, dont la température pouvait être élevée à celle de l'ébullition. Les expériences commencèrent à la température de 14 degrés. Voici les résultats obtenus :

TEMPS	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE, pouces cub	MOYENNE DE 5 min, pouces cub.
h m			
11 25			
11 30	5	6,5	6,5
11 35	10	13	6,5
Électromètre chauffé à 54°, 44			
11 46			
11 51	5	6,5	6,5
Électromètre chauffé rapidement à 100°			
11 56	10	14	7,5
12 1	15	21,5	7,5
12 6	20	29	7,5
La batterie elle même fut ensuite élevée par la vapeur à 67°, 22			
2 10	1		
2 15	5	17	13

On renferma ensuite une cellule dans le circuit, chargée d'acide froid et sans surface de cuivre.

TEMPS	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE, pouces cub.	MOYENNE DE 5 min, pouces cub
h m			
2 10			
2 25	5	8	8
Cellule froide enlevée			
2 30	10	20	12
Cellule froide ranimée avec du sulfate de cuivre			
2 35	15	20,6	9,5
La température de la batterie fut ensuite élevée jusqu'à 71°.			
2 38			
2 43	5	11	11
2 47	4	20,5	14

On voit par là qu'un simple accroissement du pouvoir conducteur paraissait exercer de l'influence sur l'électromètre voltaïque avec les électrodes de platine, tandis

que l'accroissement de l'énergie de l'affinité était détruit quand on enfermait dans le circuit une cellule dont les pouvoirs n'avaient pas été exaltés par l'accroissement de température communiquée aux autres.

1476. Je dois mentionner quelques phénomènes inattendus, produits quand on chauffait la batterie dans le vase à vapeur : il est fréquemment arrivé que lorsque le thermomètre avait atteint à peu près le point d'ébullition, et que l'action de la batterie était à son maximum, cette action cessait tout à fait. Cette suspension durait pendant des heures, pourvu qu'on maintînt la température élevée En chassant dehors la vapeur et refroidissant rapidement le vase qui contenait la pile, l'action recommençait aussi rapidement qu'elle avait cessé, mais en n'atteignant pas le même degré d'élévation, puisque cette action tombait de 20 à 14 ou 15 pouces cubiques. En faisant rentrer de la vapeur, elle s'arrêtait de nouveau, et ainsi de suite. Nul doute que la cause de ce phénomène ne fût due à l'action inégale de la chaleur sur les différents éléments de la batterie, d'où résultaient des courants thermo-électriques et une excitation inégale de la part de la vapeur sur les deux metaux. J'entrerai plus loin dans quelques détails à cet égard.

M. Daniell a trouvé effectivement, en chauffant et refroidissant la batterie, une différence de 3 à 6 degrés entre la température du liquide en contact avec le zinc et celle du liquide en contact avec le cuivre. En expérimentant de manière à faire naître des différences de température entre ces liquides, il s'est convaincu que la chaleur n'était pas la seule cause qui produisait les effets; il a reconnu que le courant qui reste après la cessation de l'action la plus forte, circulait dans une direction opposée au courant primitif, qui par là se trouvait annulé.

En enlevant quelques-uns des fils qui établissaient la communication entre les cellules, il restait encore une action dans l'aiguille et dans l'électromètre, laquelle ne s'arrêtait qu'après que l'on avait enlevé les 4 fils, preuve

de l'existence d'un courant dans le circuit, différent du circuit principal de la batterie.

1477 Pour expliquer l'interruption du courant, M. Daniell a fait l'expérience suivante : la figure 75 représente la section de la pile. *abcd* est le vase de vapeur, et les 9 cellules avec leur fil de communication sont représentées par les 9 petits cercles. Dans les expériences dont il va être question, les électrodes *e* et *f* n'étaient pas réunis. Chaque cellule était éprouvée par le galvanomètre de la manière indiquée en *g*. Les cellules de 1 à 9 faisaient dévier l'aiguille de 30° à 40° E, la cellule 8 de 4° O. La communication entre les cellules 8 et 9 ayant été rompue, la même cellule faisait dévier l'aiguille de 35° E.

Tout le circuit fut ensuite complété par la réunion de toutes les cellules au moyen d'un fil court

On a eu, en essayant séparément les cellules :

N° 8 .... 55° O
7 .... 45 E
6 .... 35 O
5 .... 10 E

Avec le n° 4 l'aiguille oscillait tantôt d'un côté, tantôt de l'autre avec force. Les autres cellules ont donné,

N° 3 .... 10° O
2 .... 20 E

Il était intéressant de reconnaître si ces différents courants avaient encore lieu avec le zinc amalgamé, le cuivre et une dissolution de l'acide sulfurique 5 cellules furent réunies à cet effet en séries, avec un voltaïmètre, et l'on éprouva séparément chacune d'elles, au moyen du galvanomètre. On a obtenu les résultats suivants :

TEMPS	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE voltaïque	MOYENNE de 5 min	GALVANOMÈTRE
h m 1 56				
61	5	1 1/4	1 3/4	Cell 1 45° E
2 6	10	3	1 1/4	Cell 2 45° E
11	15	4	1	Cell. 3 40° E.
16	20	4 3/4	0 3/4	Cell. 4 40° E
21	25	5 1/2	0 3/4	Cell. 5 40° E.

Le voltaïmètre ayant été enlevé, le circuit fut fermé avec un fil court, puis les cellules examinées séparément donnèrent :

Cell. 1 .... 25° E
Cell. 2 .... 20 O
Cell. 3 .... 20 O
Cell. 4 .... 25 O
Cell. 5 .... 25 E

Lorsque ces 5 cellules étaient réunies ensemble, la déviation était de 30 degrés O; mais le courant ne produisait pas de décomposition dans le voltaïmètre faisant partie du circuit.

En opérant avec la batterie chargée avec du sulfate de cuivre, on eut :

TEMPS h	TEMPS m	INTERVALLE	ÉLECTROMÈTRE voltaïque	MOYENNE de 5 minutes	GALVANOMÈTRE
	37				
3	12	5	5	5	Cell 1 42° 1/2 E
3	17	10	10	5	Cell 2 45° E.
3	22	15	15	5	Cell 3 45° E
3	27	20	19 1/2	5 1/2	Cell 4 47° 1/2 E
3	32	25	24 1/4	4 3/4	Cell 5 47° 1/2 E

Le circuit complété par un fil court donna

Cell. 1 .... 25° O
Cell. 2 .... 30 O
Cell 3 .... 30 O
Cell. 4 .... 30 E
Cell. 5 .... 30 E

On voit que l'action du sulfate de cuivre a augmenté le pouvoir décomposant du courant, dans le rapport de 1,1 pouc. cub. à 5 pouc. cub., et la force du courant secondaire mesurée par la déviation du galvanomètre, de 40 à 47 degrés.

On voit encore que lorsque le courant principal traversait le long fil d'un galvanomètre, ou le liquide d'un électromètre, la direction du courant secondaire de chaque cellule séparée était toujours normale, ou dans la même direction, mais que lorsqu'on laissait le courant de la batterie circuler avec le moins de résistance possible, en complétant également le principal circuit avec un fil court, le courant secondaire des cellules séparées se trouvait dans une direction opposée. On conçoit, d'après cela, que la résistance puisse être combinée de manière à ce que le courant secondaire disparaisse ou varie entre les deux directions.

Je ne pousserai pas plus loin l'exposé des observations faites par M. Daniell pour étudier les effets de la chaleur sur la pile, mon but ayant été seulement d'indiquer les principaux faits qu'il a obtenus, afin de mettre à même le lecteur de les étudier.

Il est bien certain que, d'après le procédé employé par M. Daniell pour élever la température de sa pile à courant constant, toutes les parties dont se compose cette pile n'ont pas dû être échauffées également, non-seulement les parties liquides, mais encore les parties métalliques. Or, on sait que lorsque deux liquides n'ayant pas la même température sont en contact, celui qui possède la température la moins élevée prend l'une ou l'autre des deux électricités, suivant la nature des liquides. D'un autre côté, lorsque deux métaux en communication métallique, étant inégalement chauffés, plongent dans un même liquide, les parties de ce liquide contiguës aux métaux sont inégalement échauffées, et il en résulte encore des courants électriques semblables aux précédents. Dès lors on doit obtenir dans la pile des courants secondaires qui cheminent dans le même sens que le courant principal, ou dans une direction opposée, suivant les cas que je viens d'indiquer. En outre, l'inégalité de température dans les lames doit modifier l'action chimique du liquide sur l'une des deux lames ou sur les deux. On conçoit bien qu'il est

utile d'étudier dans chaque élément la direction de ce courant secondaire dont la cause est parfaitement connue

M. Delarive, au surplus, a présenté des considérations touchant l'influence qu'exerce la chaleur sur la faculté que le courant électrique possède à passer d'un liquide dans un autre, qui servent à jeter quelque jour sur la question.

Cet habile et ingénieux physicien (1) a commencé d'abord par rappeler que la chaleur diminue la conductibilité électrique des métaux, tandis qu'elle augmente celle des liquides. Cela posé, il a cherché quelle devait être l'influence de l'élévation de température sur le passage d'un courant électrique, d'un courant métallique dans un conducteur liquide composé. On sait que dans une telle circonstance il y a toujours perte d'électricité au passage d'un corps dans un autre. Il s'agissait de voir si, dans les mêmes circonstances, cette perte augmentait ou diminuait en chauffant les deux corps dans leur point de contact. Voici de quelle manière M. Delarive a fait cette détermination · il a plongé par l'une de leurs extrémités dans un vase plein d'eau acidulée, deux lames de platine d'une certaine épaisseur, et dont une partie assez considérable de chacune d'elles se trouvait en dehors du liquide. Ces lames plongeaient verticalement aussi près que possible de la paroi du vase; elles étaient en outre recourbées horizontalement à l'endroit où elles sortaient du liquide Une forte lampe à alcool était placée sous chacune des lames, de manière à réchauffer et même rougir vivement leur partie horizontale. Par ce moyen la partie verticale se trouvait à une température plus ou moins élevée. On pouvait même, par ce moyen, faire bouillir la partie du liquide en contact avec les lames.

Avant de commencer l'expérience, les lames furent

(1) Biblib univ de Genève, Tom. VII.

mises en communication avec les pôles d'une pile de quatre éléments, de 16 pouces carrés de surface, faiblement chargée. Un multiplicateur introduit dans le circuit indiquait douze degrés pour l'intensité du courant. Dès l'instant que les lames furent chauffées, le courant augmenta successivement en intensité jusqu'à 30 degrés. La lampe placée au-dessous de la lame positive ayant été éteinte, le courant maintint toujours l'aiguille à trente degrés, bien que la lame en se refroidissant peu à peu revînt à la température ordinaire. Mais si on éteignait la lampe située sous la lame négative, le courant, à mesure que la lame se refroidissait, revenait à douze degrés. La lampe placée sous la lame positive ayant été seule rallumée, la déviation resta toujours à douze degrés, tandis qu'en rallumant l'autre lampe, elle augmenta successivement jusqu'à trente degrés

La solution sur laquelle opérait M Delarive était une forte solution d'acide sulfurique, mais les résultats furent les mêmes en employant de l'acide sulfurique très-étendu d'eau · seulement, comme cette dernière solution était plus conductrice que la première, la déviation de l'aiguille aimantée dans les divers cas était plus considérable.

On pourrait croire que, dans cette expérience, la partie des lames de platine située en dehors du liquide, étant fortement échauffée, il devrait en résulter une diminution d'intensité dans le courant, par l'effet d'une diminution dans la faculté conductrice de ces lames; mais cet effet ne pouvait être apprécié ici, attendu que les lames étaient très-légères, et que lors même qu'elles auraient été échauffées au rouge, elles auraient encore conduit mieux le courant que le liquide à travers lequel il passait. D'après cela, chaudes ou froides, on doit les considérer comme des conducteurs parfaits. Le liquide seul, soit dans les points de contact avec les lames, soit dans sa masse, doit donc exercer une influence sur le

passage de l'électricité, quand on fait varier la température. Les autres métaux, en particulier le cuivre, ont donné les mêmes résultats. Mais il faut éviter d'employer des métaux oxidables qui, donnant naissance à des effets électro-chimiques, compliqueraient les effets qu'on a en vue d'étudier.

M. Delarive recommande de ne se servir, pour faire les expériences précédentes, que d'un faible courant voltaique, si l'on veut avoir des effets bien marqués. On conçoit cette précaution; car on sait que plus un courant est faible, plus il est facilement influencé par de légères altérations dans les conducteurs qui le traversent.

La différence que l'on vient de trouver entre le pôle positif et le pôle négatif, sous le rapport de l'influence qu'y exerce la chaleur, sur leur facilité à transmettre le courant dans un liquide, semble lier, jusqu'à un certain point, l'action de la chaleur avec la direction du courant. Nous pouvons déjà tirer la conséquence des faits observés, que l'élévation de température est sans influence sur le passage du courant d'un métal dans un liquide, tandis qu'elle facilite beaucoup son passage d'un liquide dans un métal. Je rappellerai que nous avons adopté depuis longtemps que le sens du courant est la direction du pôle positif au pôle négatif.

Les faits que je viens de rapporter se rattachent aux propriétés différentes que possède le courant électrique agissant comme force chimique ou comme force physique, suivant sa direction, et dont il a été question dans cet ouvrage. On a déjà observé, en effet, que le courant chasse du pôle positif au pôle négatif l'eau elle-même, quand il la traverse, ainsi que les corps légers qui peuvent s'y trouver. On a vu aussi que les mouvements et la forme qu'affectent des bulles de mercure placées dans de l'eau traversée par un courant, étaient liés avec la direction de ce courant. Enfin, il existe des conducteurs unipolaires qui peuvent décharger l'électricité émanée de l'un des pôles, et non celle qui est émanée de l'autre;

nous verrons cependant plus loin que là propriété des corps unipolaires peut avoir une autre origine. Je rappelle tous ces faits au lecteur, parce que l'on ne saurait trop multiplier les expériences pour connaître les différences que présente chacune des électricités, quand elles agissent comme force chimique ou comme force physique. Le tableau des différences pourra seul nous aider à jeter quelque jour sur la nature de chacune des deux électricités.

CHAPITRE IV.

DE LA PROPAGATION DES COURANTS ÉLECTRIQUES DANS LES LIQUIDES.

1478. Nous sommes naturellement conduits à nous occuper de la propagation des courants électriques dans les liquides, et des causes qui la modifient. Cette question a déjà été l'objet des recherches de tous les physiciens de cette époque qui s'occupent d'électricité, et néanmoins elle est bien loin d'être résolue. M Matteucci s'est livré pendant plusieurs années à une suite de recherches à ce sujet pour tâcher d'ajouter à nos connaissances, et ses efforts n'ont pas été vains, comme on va le voir.

On sait que lorsqu'un courant voltaique est transmis dans un arc conducteur, en partie métallique et en partie liquide, on peut modifier son intensité, en apportant des changements dans l'appareil producteur, ou bien dans la nature des électrodes et du liquide Si l'on considère seulement les électrodes et le liquide, il faut avoir égard à leur nature, à la composition chimique du liquide, à sa température, à son volume considéré dans ses trois dimensions, et à l'étendue des électrodes. M. Matteucci s'est appliqué principalement à étudier l'influence à la fois séparée et réunie de ces divers éléments sur l'intensité du courant, en modifiant en même temps la force du courant, puis l'influence des diaphragmes métalliques et liquides placés sur la route du courant, sur son intensité, ainsi que les modifications

qu'éprouve celle-ci, suivant sa direction. Il a employé, pour faire ces recherches, divers moyens d'expérience que je vais décrire : 1° Une pile à force constante d'après les principes que j'ai exposés précédemment (1445, etc.). Cette pile est représentée fig. 76, les cases *ccc*, *c' c' c*, renferment une solution de sulfate de cuivre avec des cristaux de sulfate neutre, comme le fait M. Daniell, *c c c*, *c' c' c'* sont des lames de cuivre placées de chaque côté des lames de zinc *z z z*, et séparées de ces dernières par des membranes appliquées sur les parois des petites caisses, comme dans mes appareils; *o o o* sont des tubes de verre qui laissent écouler goutte à goutte une solution nitro-sulfurique dans les cases moyennes où se trouvent les lames de zinc. Au fond de ces cases se trouve un autre tube semblable pour donner écoulement au liquide. Il aurait été préférable de disposer un déversoir pour avoir un niveau constant.

1479. M. Matteucci a pris, pour faire ses expériences diverses précautions que je vais décrire avec cette pile à force constante. Pour se mettre à l'abri des polarités secondaires, il laisse s'écouler entre chaque passage de courant un certain intervalle de temps, variable avec la force de la pile et du liquide parcouru, ou bien il fait passer le même courant en sens contraire. Le premier fait qu'il a étudié est celui relatif à la décomposition électro-chimique produite par un courant forcé de passer dans un liquide par des lames décomposantes étroites, tandis que ce même courant ne produit pas cette décomposition, s'il passe par des lames plus larges. On prend, à cet effet, deux couples de la pile à force constante, et deux capsules remplies d'une solution d'iodure de potassium dans 25 ou 50 p. d'eau distillée, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'eau amidonnée. Dans une capsule, les électrodes ont 5 centimètres carrés de surface, dans l'autre 3 millimètres de largeur, sur une longueur de 8 ou 10; on fait passer dans chaque capsule une portion du courant de la pile à deux éléments. Après quelques secondes, une couleur bleu foncé annonce la

décomposition sur les électrodes étroits, tandis que, même une heure après, aucune apparence ne se montre sur les larges électrodes. Il est à remarquer que pendant le passage du courant dans les liquides par les lames larges, la déviation de l'aiguille aimantée sur le multiplicateur est peu forte D'autres liquides ont donné le même résultat, seulement, en employant un liquide plus difficile à décomposer, il fallait employer un plus grand nombre de couples.

Relativement à la quantité nécessaire de zinc dissoute pour produire un certain courant, on a trouvé que lorsque ce courant doit parcourir un liquide, cette quantité varie avec l'intensité de l'action électro-chimique C'est pour ce motif que lorsque le courant d'une pile, ou un seul de ses éléments, traverse un arc métallique, la quantité de zinc qui est dissoute est égale, soit à chacune des quantités provenant des éléments réunis en pile, soit à la quantité d'éléments pris isolément Mais si le courant provenant de plusieurs couples passe à travers un liquide, la décomposition a lieu, et l'on trouve alors que la quantité de zinc dissoute est plus grande pour chacun des élements réunis en pile, que pour un seul des éléments pris séparément En étudiant l'influence de la nature du liquide sur l'intensité du courant qui le traverse, M. Matteucci a reconnu que pour tous les sels qui peuvent subir la fusion aqueuse, la conductibilité de ces sels, à l'état de fusion, est la même que celle des solutions saturées à + 20° R dans l'eau distillée. Ce fait a été établi avec l'acétate de plomb, l'alun, le sulfate de zinc, le chlorure de calcium La conductibilité des sels, à l'état de fusion, est en général plus grande que celle de leurs solutions saturées dans l'eau. Cela démontre aussi que pour un courant donné, la conductibilité n'augmente pas proportionnellement à la quantité de sel ou d'autres substances ajoutées à l'eau La quantité de sel qui produit le maximum de conductibilité, est d'autant moindre que la substance qui, à poids égal, est ajoutée à l'eau, communique une plus grande conductibilité.

1480. Lorsqu'on dissout dans l'eau plusieurs sels, sans qu'il y ait décomposition entre eux, on trouve que la conductibilité de cette eau est égale à la somme des différentes conductibilités qui seraient communiquées à la même quantité d'eau par ces différents sels pris séparément.

Le principe se vérifie d'autant moins qu'on opère sur des solutions qui sont loin de leur maximum de conductibilité ; ainsi une solution de $\frac{1}{100}$ de sel ammoniac dans l'eau distillée donne 12°; une solution essayée séparément de $\frac{1}{100}$ de nitrate de potasse donne 8°, et une solution de $\frac{1}{100}$ de sel ammoniac et $\frac{1}{100}$ de nitrate de potasse donne 20°. Lorsqu'on a des solutions qui ont acquis le maximum de conductibilité avec un certain sel, l'augmentation de conductibilité par un autre sel ajouté, est bien moindre qu'elle ne serait, si la solution primitive était loin de ce maximum. Cela explique comment il arrive qu'en cherchant la conductibilité du mélange des sels fondus, on la trouve égale à celle du sel doué de la plus grande conductibilité. C'est ainsi que dans le nitre fondu, la conductibilité ne varie pas en ajoutant de l'alun, du sulfate de zinc, de l'acétate de plomb fondu. Dans ce cas, la conductibilité du nitre fondu est à son maximum pour ce sel, et supérieure à celle des autres sels fondus et ajoutés.

1481. En étudiant l'influence de la longueur de la couche liquide sur l'intensité du courant qui doit la traverser, M Matteucci a trouvé, ce qu'on savait déjà, que le courant diminue d'intensité avec l'accroissement en longueur de cette couche; mais il a reconnu en outre que cette augmentation n'est pas proportionnelle à la diminution de la longueur de la couche; car elle est d'autant plus rapide que la diminution s'accroît davantage · il suffit de jeter les yeux sur le tableau suivant pour s'en convaincre :

Longueur de la couche	Électrodes étroits — Intensité	Électrodes larges — Intensité
m 2	1	1
1	1	1
0 50	2	2
0 15	6	10
0 05	10	32
0 025	21	(46°)
0 012	36	(72°)
0 006	76	(90°)

On voit aussi dans ce tableau que l'augmentation est d'autant plus rapide que le courant est rendu plus intense en donnant plus de surface aux électrodes.

1482. Si l'on fait varier de plusieurs manières en largeur ou en hauteur une même masse de liquide d'une longueur donnée, l'expérience montre que le volume doué de la plus grande conductibilité est celui dans lequel les différentes parties du courant ont le moins de route à faire pour passer d'un électrode à l'autre. Ce fait explique pourquoi on gagne en conductibilité, lorsqu'on rétrécit, et qu'on augmente en hauteur en même temps une certaine masse de liquide donnée en longueur, prise d'abord plus large que haute. — Bien entendu que ces résultats ne s'obtiennent que lorsque la surface des électrodes est bien moindre que la section de la couche liquide Dans ces cas, on gagne toujours en conductibilité en augmentant le volume, mais on gagne d'autant plus que les nouveaux filets liquides ajoutés sont disposés relativement à la ligne la plus courte qui réunit les deux électrodes, de manière à faire parcourir aux courants dérivés la plus petite route possible Ce même principe explique aussi pourquoi la conductibilité n'est pas égale avec des électrodes constants, suivant qu'ils plongent ou dans les couches du fond, ou dans les couches supérieures, ou dans les couches moyennes. Le maximum de conductibilité se trouve dans ces deux dernières.

Relativement à l'influence des différents métaux employés, soit comme diaphragmes, soit comme électrodes, on trouve ce fait déjà observé par M. Delarive, savoir, que les différents métaux résistent d'autant moins au passage du courant, qu'ils sont plus attaqués par les liquides conducteurs

1483. En cherchant l'influence de la chaleur sur l'augmentation de la conductibilité dans les liquides, on trouve, outre les faits déjà connus, que cette influence persiste d'autant moins que ces liquides sont plus conducteurs, et qu'une solution chauffée conserve, en se refroidissant, une conductibilité supérieure à celle qu'elle avait acquise en s'échauffant à une température donnée. Cette persistance est d'autant plus grande que la durée de l'échauffement a été plus longue, et les échauffements et les refroidissements plusieurs fois répétés. Voici un tableau qui démontre ce fait remarquable pour de l'eau qui contient une petite quantité des acides nitrique et sulfurique :

DEGRÉ du thermomètre	CONDUCTIBILITÉ de la solution en s'échauffant	CONDUCTIBILITÉ de la même solution en se refroidissant
0° R	22°	24°
+ 15	34	35
+ 22	36	38
+ 38	40	44
+ 50	44	45

1484. Voyons maintenant les effets produits quand on modifie en même temps le nombre des couples, le liquide de la pile, l'étendue de ces couples, et la conductibilité du liquide traversé par le courant, la surface des électrodes et le volume du liquide. La question, comme on le voit, est très-complexe. En cherchant à la résoudre, M. Matteucci a été conduit aux mêmes conclusions auxquelles M. Delarive était parvenu, en partant du

principe de la recomposition des deux fluides dans l'intérieur de la pile. En effet, voici ces conclusions 1° Lorsque la pile est douée d'une faible force de production et de propagation (c'est-à-dire lorsqu'elle est chargée avec un liquide très-peu conducteur, et que les surfaces de ses couples sont étroites), on parvient, en augmentant le nombre des couples, à une *limite* qui produit le maximum d'intensité, et cette limite arrive d'autant plus tôt, que le liquide traversé est meilleur conducteur, que son volume est plus grand, la longueur de la couche moindre, et que la surface des électrodes est plus large 2° Le nombre limite des couples, qui donne l'intensité maximum, est d'autant plus grand, que la force de production et de propagation est plus grande dans la pile, et cela proportionnellement à la conductibilité, au volume, à la moindre longueur de la couche liquide à parcourir, et à la surface des électrodes.

1485. Parlons maintenant des pertes qu'éprouvent les courants qui traversent les diaphragmes métalliques. M Delarive a établi que ces pertes diminuent proportionnellement à l'intensité du courant initial, cela n'est vrai qu'autant que l'intensité de courant augmente par un plus grand nombre de couples. Si, au contraire, cette augmentation se fait ou par un liquide meilleur conducteur mis dans la pile, ou dans l'électromètre, ou par des électrodes plus larges, ou par une couche liquide moins longue à parcourir, dans ces différents cas, les pertes produites par les diaphragmes croissent avec l'intensité initiale du courant Les résultats suivants mettent en évidence toutes ces lois; ils ont été obtenus avec une pile chargée avec de l'eau distillée.

TABLEAU I.

NOMBRE de couples	NOMBRE DE LAMES OU DIAPHRAGMES			
	0	1	2	3
80	(41)°	(41)°	55 int	15 int
40	31 50 int	31 int	25	22
20	14	12 50	11	9
10	7	6	5	4

Dans le II[e] tableau, la pile était chargée avec de l'eau acidulée.

TABLEAU II.

NOMBRE DE COUPLES	NOMBRE DE LAMES OU DIAPHRAGMES 0	I
2	3 int	4
4	63	33
6	(86°)[1]	(72°)[1]

Ces résultats montrent bien que, lorsqu'il y a plusieurs diaphragmes, les pertes produites par chacun d'eux sont loin de diminuer proportionnellement à leur nombre. Cet effet n'a heu, comme l'a dit M. Delarive, que lorsque l'intensité du courant augmente avec le nombre des couples. On peut résumer ainsi l'effet des diaphragmes: Le nombre des couples *limite*, auquel s'arrête la perte produite par les diaphragmes, varie proportionnellement, non-seulement à la conductibilité du liquide interposé entre les couples de la pile, mais encore aux différents éléments qui constituent la conductibilité du canal, tels que la nature du liquide, son volume et l'étendue des électrodes M. Mattcucci a confirmé ces résultats en prenant poui diaphragmes des couches d'un liquide plus conducteur, placées au milieu du canal avec des membranes, comme on le voit dans le tableau suivant:

+	Liquide mauvais conducteur	Liquide bon conducteur	Liquide mauvais conducteur	—



Je dois faire remarquer qu'une perte à peine sensible est produite par les membranes, quand on les tient plongées pendant un certain temps dans les liquides. Elles s'opposent aussi pendant quelque temps à leur mélange.

Voici quelques résultats obtenus dans le liquide mauvais conducteur :

LONGUEUR de la couche liquide	INTENSITÉ du courant	DANS LA COUCHE DU LIQUIDE bon conducteur. Longueur	Intensité
0,2 m	(50°)		
0,4	52 int.	0,2 m	(66°)
0,6	32		
0,8	23		

Le canal intermédiaire est disposé de manière que le liquide bon conducteur, qui a $0^m,2$ de longueur, se trouve au milieu, tandis que les liquides mauvais conducteurs sont placés de chaque côté, et peuvent être plus ou moins longs, en éloignant l'un de l'autre les deux électrodes.

Mauvais conducteur	Bon conducteur	Intensité.
0,2 m +	0,2 m	48
0,4 +	0,2	34 50
0,6 +	0,2	23
0,8 +	0,2	20

Nous voyons là que le passage du courant à travers le liquide bon conducteur donne 66°, que la conductibilité des couches latérales est réduite, pour la couche longue de $0^m,2$, de 50° à 48°, pour la seconde couche, longue de $0^m,4$, de 52 intensité à 34,5 ; pour la troisième, de 32 à 23 ; pour la quatrième, de 23 à 20. Il faut observer que la couche du liquide bon conducteur, quand même elle aurait sa longueur entière, aurait toujours une conductibilité bien plus grande. On voit encore que ces pertes croissent aussi proportionnellement à l'intensité initiale du courant, excepté dans le cas où cette

intensité n'augmente pas par un plus grand nombre de couples Le remplacement des diaphragmes métalliques par des couches liquides plus conductrices a bien de l'importance, parce qu'il établit qu'une des causes de la perte produite par les diaphragmes, est le changement de conducteur, et non les polarités secondaires qui se développent; car comment admettre, dit M. Matteucci, que ces polarités se développent dans les liquides? Cependant d'anciennes expériences de M Vanbeck tendent à prouver que les liquides peuvent également se polariser.

Il ne me reste plus maintenant à exposer que les résultats auxquels M. Matteucci est parvenu, en étudiant les modifications qu'éprouve la propagation du courant, quand on opère des changements dans les conducteurs, soit au pôle positif, soit au pôle négatif. On connaît déjà les expériences qui ont été faites à ce sujet par Porret, par moi, par M. Marianini et par M. Delarive M Matteucci a fait, à cet effet, usage d'un appareil (fig 77) qui se compose d'un galvanomètre G à fil double, d'une pile P de 20 à 30 couples et faiblement chargée, et de deux boîtes égales en bois, AB, CD, séparées au milieu par une membrane. En suivant la direction des flèches, on voit que le courant de la pile passant dans les deux godets de mercure S et S', se partage entre les deux boîtes, tandis que les deux courants traversent les deux fils du galvanomètre dans deux directions inverses. La différence de conductibilité des deux systèmes AB et CD est toujours indiquée par le galvanomètre, dans le premier cas, on rend positif l'électrode A, et négatif l'électrode D. Ces deux électrodes ont des dimensions égales; les deux autres, qui sont aussi égaux, sont l'un B négatif et l'autre C positif; mais les deux premiers plus larges que les deux autres On trouve, en général, que le système CD est plus conducteur que le système AB, c'est-à-dire, celui qui a l'électrode positif plus étroit que l'électrode négatif. Ces différences sont d'autant plus grandes que la distance entre les électrodes est plus grande, et le liquide plus mauvais conducteur; en outre, que la diffé-

rence entre la surface des deux électrodes, pour produire la plus grande différence de propagation, doit varier avec cette distance, et en raison inverse de la conductibilité du liquide.

On observe encore d'autres différences, il faut pour cela employer des séparations en membranes dans les boîtes : A est rempli à moitié de liquide, B l'est entièrement; D est également rempli à moitié, et C entièrement. D'après cette disposition dans la boîte A B, le courant va d'une moindre masse liquide à une plus grande, tandis que dans l'autre, CD, le courant va de la plus grande masse liquide à la moindre. On trouve alors que dans la boîte AB la conductibilité est meilleure que dans la boîte C D. Si l'on met en A un liquide conducteur, et en B un moins bon conducteur, dans C le moins bon, et dans D le meilleur, on trouve CD meilleur conducteur que AB. Les liquides sont choisis de manière à ne pas exercer l'un sur l'autre d'action chimique; dans les expériences on a pris de l'eau distillée et de l'eau à peine salée. M. Matteucci a découvert encore une autre différence en opérant avec deux masses liquides assez longues et plaçant un diaphragme métallique, dans l'une près du pôle positif, et dans l'autre près du pôle négatif. On dispose l'appareil pour que le courant de la pile se distribue dans les deux masses liquides et parcoure les deux fils du galvanomètre en sens inverse : cette disposition est indiquée fig. 77.

Dans le liquide AB le diaphragme M est près du pôle positif, dans le liquide C D, le diaphragme M est près du pôle négatif. On trouve dans ce cas que A B est meilleur conducteur que C D.

On peut résumer de la manière suivante ces différences de propagation : En comparant des systèmes de conducteurs égaux avec une conductibilité inégalement distribuée, relativement aux deux lames qui transmettent le courant, on trouve une différence dans la conductibilité, le meilleur conducteur est celui dont la partie qui conduit mal est près du pôle +, et dont la partie qui conduit bien est près du pôle —.

La différence que M. Delarive a obtenue en échauffant inégalement les deux électrodes rentre dans le même principe, en effet, il est plus avantageux de chauffer l'électrode négatif que de chauffer l'électrode positif; or, l'échauffement rendant la couche liquide plus conductrice, il en résulte qu'en échauffant l'électrode négatif, le courant passe plus facilement du mauvais conducteur dans le bon.

CHAPITRE V.

DE LA FORCE CHIMIQUE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET DE SES RAPPORTS AVEC LE MODE DE COMBINAISON DES CORPS DÉCOMPOSÉS.

§ 1er. *Considérations générales.*

1486. J'AI déjà exposé, avec de grands développements, les observations de M. Faraday relatives au rapport constant qui existe entre la quantité d'électricité dégagée et les produits de la décomposition, et aux équivalents électro-chimiques. Ces observations nous ont montré, en effet, que des quantités équivalentes des différents métaux dégagent, quand ces derniers s'oxident, une quantité égale d'électricité qui est douée du même pouvoir chimique. J'ajouterai que M. Faraday a admis que la faculté que possède le courant de décomposer une combinaison, ne dépend pas de la quantité d'électricité dégagée, mais de l'intensité de cette électricité. C'est en raison de cette manière de voir qu'il a rangé en séries des combinaisons, d'après l'intensité plus ou moins grande que devait avoir le courant pour les décomposer. Il a observé encore que lorsqu'on ne peut décomposer certaines combinaisons, on y parvient en ajoutant à la solution une seule goutte d'acide, toutes choses égales d'ailleurs Il ne suffit donc pas, d'après cette manière de voir, d'augmenter la quantité d'électricité dégagée, pour que le courant devienne capable d'opérer

une certaine décomposition chimique, mais il faut encore que cette électricité soit produite par une action chimique d'une certaine intensité (1).

1487. M. Matteucci est parvenu à une conclusion un peu différente, comme nous le verrons dans un instant. Il a commencé d'abord par démontrer qu'en employant une pile composée d'un certain nombre d'éléments, le courant acquiert toujours une force électro-chimique d'autant plus grande que la quantité d'électricité dégagée et mise en circulation est plus considérable, et qu'il arrive qu'une augmentation de surface du métal dissous n'a pas toujours pour effet la circulation d'une plus grande quantité d'électricité, tandis que cette circulation peut devenir plus considérable par un changement dans le liquide qui provoque le courant, sans que pour cela la quantité totale d'électricité dégagée se soit accrue.

L'appareil dont cet ingénieux physicien a fait usage consiste en un flacon de la contenance de 125 à 150 grammes d'eau, muni d'un bouchon de liége recouvert de vernis. Une lame de zinc distillé ou de zinc amalgamé, de 3 centimètres sur 4, et une autre de platine de mêmes dimensions sont soudées à deux fils de cuivre traversant le bouchon. Ces deux fils, qui sortent du flacon, sont scellés dans le bouchon et recouverts de vernis jusqu'à la soudure. Au centre du bouchon se trouve un tube de verre de trois millimètres de diamètre, recourbé en U, et dont l'une des branches communique avec l'intérieur, et l'autre avec l'extérieur.

Au moyen de cette disposition, quand il se dégage du gaz dans l'intérieur, ce gaz déplace une portion du liquide, qui, étant recueillie et mesurée, indique la quantité de gaz dégagée. Plusieurs flacons analogues ont été préparés ainsi. Le liquide employé pour charger les appareils voltaïques est de l'eau acidulée par l'acide sulfurique ayant une densité de 1,5 ou 2.

Il est reconnu que, dans une pile, la quantité d'électricité dégagée et qui circule dans chaque couple augmente ordinairement avec le nombre des couples. Cette quan-

tité d'électricité donne des produits que l'on considère comme égaux (quoiqu'ils ne le soient pas toujours, comme le prouvent les expériences de M. Daniell), et sur la lame de platine des couples et sur les électrodes qui se trouvent dans le liquide soumis à l'action. Si l'on apporte un changement dans la distance entre les électrodes, dans leur étendue, la nature du liquide, il y a aussitôt un changement correspondant dans la quantité d'électricité dégagée et qui circule entre chaque couple, ce changement est indiqué par la quantité d'hydrogène dégagée sur la lame de platine de la pile, mais on obtient toujours la même quantité d'hydrogène sur la lame de platine des couples et sur celle qui forme l'électrode négatif.

1488. M. Matteucci explique de la même manière que M. Delarive pourquoi la quantité d'électricité dégagée et qui circule dans chacun des couples augmente avec leur nombre; mais je ne m'y arrêterai pas, attendu qu'il a été souvent question de cette explication dans cet ouvrage.

Mais il a observé un fait important, dont j'ai parlé précédemment : c'est que l'on peut augmenter la force chimique du courant en diminuant la surface des lames qui transmettent le courant dans le liquide. Ce fait est absolument semblable à celui qui a été découvert par Wollaston pour l'intensité ordinaire, et dont cet ingénieux physicien a fait usage pour décomposer l'eau.

En rétrécissant ainsi la surface des lames décomposantes, on diminue bien la quantité totale d'électricité qui circule, mais alors on augmente son intensité. Wollaston disait que l'électricité, en entrant par des pointes très-fines dans le liquide, avait une tension plus considérable, et avait alors plus d'aptitude pour décomposer l'eau.

1489. Considérons maintenant le fait cité par M. Faraday, du couple zinc et platine qui décompose un électrolyte, quand on ajoute à la solution d'acide sulfurique quelques gouttes d'acide nitrique, tandis qu'on n'obtient rien en augmentant la quantité d'acide sulfurique ou l'étendue de la lame de zinc.

Voici comment M. Matteucci a répété l'expérience : il a fait passer le courant d'un de ses couples élémentaires dans une solution d'iodure de potassium, tantôt avec des fils de platine, tantôt avec des lames de plusieurs centimètres carrés ; la décomposition était toujours beaucoup plus abondante sur les fils que sur les lames. Il n'a obtenu aucun effet en opérant sur une solution mêlée, très-concentrée, de nitrate d'argent ou de nitrate de cuivre, dans les deux cas, une addition d'acide sulfurique au liquide du couple ne changeait rien à cet état de chose, tandis qu'en y ajoutant quelques gouttes d'acide nitrique, la décomposition du nitrate avait lieu aussitôt.

1490. En faisant usage de piles élémentaires à grandes surfaces, d'un mètre carré de superficie, par exemple, la solution du nitrate d'argent a été décomposée, soit avec les lames, soit avec les fils. Ce fait nous prouve que l'augmentation dans l'étendue des surfaces de la pile donne au courant une intensité de force décomposante plus considérable. On comprend maintenant comment il se fait, dit M. Matteucci, que dans l'expérience de M. Faraday, une augmentation de surface qui est peu considérable ne donne pas au courant une force électro-chimique suffisante pour opérer une décomposition; cette force, en effet, pourrait dépendre uniquement de la quantité d'électricité qui est mise en circulation, laquelle est liée intimement avec l'étendue de la lame négative, avec la nature plus ou moins attaquable du liquide, et avec la conductibilité et la décomposition électro-chimique plus ou moins facile de ce liquide; si donc on n'augmente que jusqu'à certain point la surface du métal attaqué dans une pile, qui ne se décharge pas à travers un conducteur métallique, on ne fait que développer une plus grande quantité d'électricité qui se recompose sur la surface du métal même, sans augmenter sensiblement la portion de celle qui circule.

Quant à l'action de l'acide nitrique, je ferai d'abord remarquer que l'on n'obtient jamais de décomposition en

employant seulement dans un des couples une solution d'acide nitrique sans acide sulfurique. Une seule goutte d'acide sulfurique suffit pour produire la décomposition, comme aussi quelques gouttes d'acide nitrique dans une solution d'acide sulfurique déterminent la décomposition. Si l'on compare les résultats obtenus avec différentes solutions d'acide sulfurique plus ou moins concentrées, et des solutions nitro-sulfuriques, on trouve, en faisant passer le courant à travers un arc métallique, de grandes différences dans la quantité d'électricité mise en circulation; l'expérience montre que l'action de l'acide nitrique se réduit à laisser circuler une plus grande portion d'électricité dégagée, et cela par la perte moins grande qu'il fait subir au courant électrique dans son passage du liquide au platine, et surtout en rendant le liquide plus décomposable par le courant électrique, et par cela même meilleur conducteur

§ II *De la décomposition voltaïque opérée simultanément sur deux combinaisons mêlées ensemble.*

1491. On sait que lorsqu'on soumet à l'action de la pile une solution d'un composé quelconque, il se dépose ordinairement, sur les électrodes, les éléments des substances tenues en solution, lesquels peuvent réagir les uns sur les autres, ou sur les électrodes. Quand il n'y a aucune réaction, les éléments déposés, qui sont simples ou composés, sont appelés primitifs; dans le second cas, les composés formés sont appelés produits secondaires. Tous ces produits ont été trop souvent examinés dans le cours de cet ouvrage pour qu'il soit nécessaire d'y revenir. Rappelons aussi que lorsqu'on fait passer un courant dans de l'acide chlorhydrique ou des solutions de chlorure, en même temps que dans l'eau, on obtient, dans les premiers liquides, de l'hydrogène au pôle négatif, et, au pôle positif, un mélange de chlore et d'oxigène, dont les quantités varient suivant la proportion dans laquelle l'acide chlorhydrique est mêlé à l'eau. Ces

résultats portent à admettre que l'acide et les chlorures sont décomposés directement, en même temps que l'eau.

M. Matteucci, pour étudier la manière dont s'opère cette décomposition, a fait usage de l'appareil voltaïque décrit dans le cinquième volume de cet ouvrage, p. 300. Le courant était transmis par des lames de platine, ayant 2 centimètres de long sur 6 millimètres de large; l'appareil pour recueillir les gaz était un voltamètre rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique, d'une densité de 1,336. L'autre liquide était placé dans une capsule, au fond de laquelle étaient fixées avec de la cire à cacheter, deux lames de platine, disposées parallèlement l'une à l'autre, et placées perpendiculairement au fond de la capsule. La capsule ayant été remplie de liquide, on renversa sur les deux lames deux tubes gradués, remplis du même liquide En soumettant à l'expérience des mélanges d'eau et d'acide hydro-chlorique, des solutions de chlorure, d'iodure, etc., on a obtenu les résultats suivants · 1° lorsque le liquide électrolytique était composé, en grande partie, d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorure et d'iodure, et d'une très-petite quantité d'eau, on n'obtenait que du chlore ou de l'iode au pôle positif; l'hydrogène, dégagé au pôle négatif, donnait une quantité d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorure et d'iodure décomposés, équivalente précisément à la quantité d'eau décomposée dans le voltamètre. 2° En augmentant la proportion d'eau, relativement à celle des combinaisons de chlore et d'iode, ou en faisant usage d'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique, au lieu d'eau pure, on obtenait de suite au pôle positif, avec l'iode ou le chlore, une quantité d'oxigène, qui était d'autant plus grande que la proportion d'eau était plus forte 3° En augmentant la force de la pile, la proportion de l'oxigène devenait proportionnellement plus considérable. 4° La quantité d'hydrogène obtenue au pôle négatif, dans les solutions qui contenaient les acides hydro-chlorique, hydriodique, etc., est moindre que celle qu'on obtenait au pôle de même

nom dans l'eau du voltamètre, lorsque les solutions étaient saturées de combinaisons de chlore et d'iode et que la force de la pile n'était pas plus grande. Le contraire avait lieu dans les cas opposés.

1492. Si l'on prend pour point de départ ces expériences, la loi de la décomposition directe, opérée sur deux combinaisons mêlées ensemble, peut s'exprimer ainsi : l'action chimique du courant est toujours définie; les deux combinaisons sont décomposées directement par le courant; la quantité de chacune d'elles qui est décomposée, est équivalente à celle qu'on obtient en en décomposant séparément une seule par un courant de même force.

En opérant avec des combinaisons de chlore et de métaux, qui ne décomposent pas l'eau à l'état naissant comme le platine, l'or et même le cuivre, on arrive au même résultat.

Enfin, toutes les fois qu'en augmentant la force chimique de la pile, on voit augmenter la quantité décomposée d'une certaine combinaison comparativement à une autre avec laquelle elle se trouve mêlée, on doit en conclure que la première est moins décomposable que la seconde. C'est ainsi que l'iodure de potassium, les acides hydriodique et hydro-chlorique, les chlorures, l'eau acidulée par l'acide sulfurique, sont des combinaisons qui se suivent dans l'ordre de leur facilité à être décomposées.

§ III *De la décomposition voltaïque opérée sur des combinaisons binaires du second ordre.*

1493. Les combinaisons binaires sur lesquelles M. Matteucci a opéré, sont l'acétate de plomb et les borates neutres de plomb et de zinc

Lorsque l'on soumet à l'action de la chaleur de l'acétate neutre de plomb, ce sel se fond dans son eau, puis se solidifie; en continuant à chauffer, il se fond de nouveau, puis perd une partie de son acide et finit par se

solidifier, quand il est réduit à l'état d'acétate tribasique En soumettant l'acétate neutre anhydre à l'action d'un courant provenant d'une pile de 60 couples, lequel courant passe en même temps dans l'eau acidulée d'un voltamètre, on observe les effets suivants. du gaz se dégage sur la lame positive en même temps qu'une couche brun-rougeâtre de peroxide de plomb est déposée sur cette même lame; au pôle négatif, on obtient du plomb. En recueillant les produits, on a trouvé dans une expérience · dans le voltamètre 6 cent c. de gaz mêlés, qui correspondent à 3,2216 millig. d'eau décomposée, et 37 millig de plomb au pôle négatif. Ce résultat donne 1287 pour l'équivalent du plomb, nombre qui diffère très-peu de celui qui a été adopté par les chimistes.

Si l'on fait passer le courant dans une solution aqueuse d'acétate de plomb, on obtient la même quantité de plomb pour la même quantité d'eau décomposée dans le voltamètre; il en est encore de même avec des solutions plus ou moins concentrées, il se dépose, comme dans l'acétate fondu, du gaz et une couche de peroxide de plomb. Le gaz est de l'oxigène pur et sa quantité est à peu près le $\frac{1}{10}$ du mélange gazeux du voltamètre. La quantité de peroxide paraît être la même dans le sel fondu que dans le sel dissous.

1494. En opérant avec le nitrate d'argent fondu, il y a un grand dégagement de gaz nitreux au pôle positif, et un dépôt d'argent au pôle négatif. Pour 6 cent cub. de mélange gazeux dans le voltamètre, on a 39 millig. d'argent Ce nombre donne pour l'équivalent de ce dernier métal 1356, nombre sensiblement le même que celui qui est adopté par les chimistes. On obtient encore un résultat semblable quand on fait passer le courant dans une solution de nitrate d'argent

Les borates neutres de plomb et de zinc se comportent de même.

On voit donc que le courant électrique exerce la même action sur une combinaison binaire, soit qu'elle se trouve à l'état de combinaison binaire du premier ordre, ou

à l'état de combinaison binaire du second ordre, c'est-à-dire qu'un oxide fondu est décomposé par le courant, comme cet oxide l'est quand il est combiné avec un acide; de sorte que l'on peut admettre que les produits obtenus dans les solutions aqueuses de ces sels ne sont pas nécessairement des produits secondaires.

§ IV. *Du rapport qui existe entre l'action du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans la combinaison décomposée.*

1495. La détermination du rapport entre l'action chimique du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans une combinaison soumise à la décomposition électro-chimique, est d'une très-grande importance, puisqu'elle peut nous donner quelques notions sur les rapports qui existent entre les affinités en vertu desquelles plusieurs combinaisons sont formées. Malheureusement la chimie ne peut nous fournir pour les expériences qu'un petit nombre de combinaisons, qui ne renferment qu'un atome d'une espèce, combiné avec 1, 2 ou 3 atomes d'une autre espèce, et encore parmi celles que l'on possède il y en a peu qui soient fusibles, anhydres et donnant des produits qui n'attaquent pas la substance des électrodes.

M. Faraday est le premier qui ait fait des recherches à ce sujet : c'est lui qui a montré que toutes les combinaisons binaires, à l'état de fusion, sont décomposées par le passage du courant, lorsqu'elles contiennent un équivalent d'un corps combiné avec l'équivalent d'un autre Il a avancé, en outre, que lorsque ces combinaisons sont formées d'un plus grand nombre d'équivalents, d'un équivalent avec deux équivalents, la décomposition cesse d'avoir lieu. M. Matteucci, comme on va le voir, a modifié un peu cette loi.

Le protochlorure d'antimoine, soumis à l'expérience, à l'état de fusion, a fourni des quantités de gaz et d'an-

timoine métallique dans un rapport tel avec l'eau décomposée qu'il a obtenu, pour l'antimoine, un nombre qui est à peu près égal au sixième du nombre adopté par les chimistes, pour l'équivalent de ce métal; avec le bromure d'antimoine, des nombres peu différents de ceux qu'il avait eus avec le protochlorure d'antimoine, dans diverses expériences.

1496. Le protochlorure et le bichlorure de cuivre fondu n'ont pu donner des résultats numériques, attendu que les électrodes d'or ou de platine ont été attaqués, lorsque les composés ont commencé à fondre. On a observé seulement que lorsqu'ils sont fondus, ils donnent passage à un courant provenant de vingt couples, et qu'il se dégage du chlore au pôle positif; tandis que du cuivre, qui disparaît bientôt, se montre au pôle négatif. Avec des solutions aqueuses, on trouve les résultats suivants: si l'on décompose en même temps de l'eau, et de l'eau dans laquelle est dissous un chlorure, on trouve que les quantités d'eau et de chlorure décomposées, réduites aux équivalents de l'eau, donnent un nombre qui ne diffère pas de celui qui exprime la quantité d'eau décomposée. Du protochlorure de cuivre, récemment fondu, a été dissous dans de l'acide hydro-chlorique, on a ajouté à la solution une quantité, plus ou moins grande, d'alcool; l'électrode négatif, qui transmettait le courant, était recouvert d'une cloche graduée et remplie de la même solution, le courant traversait en même temps l'eau du voltamètre; on a eu

MÉLANGE GAZEUX dans le voltamètre, cent. cubes	HYDROGÈNE, cent. cubes	QUANTITÉ DE CUIVRE au pôle négatif, en milligrammes
Expérience 1re 15	5 8	17
id 2e 27	11 4	37
id 3e 32	2 0	5
id 4e 06	2	16

Les différences que l'on remarque entre les quantités relatives d'hydrogène et de cuivre, obtenues au pôle négatif, ainsi que l'absence d'oxigène au pôle positif, prouvent que les seuls corps décomposés directement sont l'acide hydro-chlorique et le protochlorure. On en conclut donc que le protochlorure de cuivre est soumis à la loi générale. On trouve effectivement, dans ce cas, un nombre pour équivalent du cuivre, très-peu différent de 791, qui est adopté pour le cuivre.

En soumettant également à l'action électrique une solution de bichlorure de cuivre très-concentrée, on obtient une décomposition directe du chlorure, puisqu'on ne trouve aucune trace d'oxigène au pôle positif. Les résultats obtenus donnent, pour le cuivre, un nombre qui, à très-peu de différence près, est égal à la moitié du nombre équivalent du cuivre. En décomposant donc, d'une part, de l'eau et du protochlorure, et, de l'autre, de l'eau et du bichlorure, on trouve, pour une quantité d'eau donnée décomposée, une quantité de protochlorure décomposée, double de celle du bichlorure.

Les résultats obtenus conduisent aux conséquences suivantes :

1° Si un courant électrique décompose dans le même temps trois combinaisons mises séparément sur sa route, dont la première renferme deux équivalents, la deuxième un équivalent avec deux équivalents, la troisième un équivalent avec trois équivalents, on trouve que son action chimique sur chacune d'elles, mesurée par la quantité de ces trois combinaisons qui ont été décomposées, varie comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$.

2° Si l'action chimique du courant, comme tout le démontre, est toujours proportionnelle au degré d'affinité des éléments qui sont séparés par ce courant, on doit en conclure que les degrés d'affinité qui lient les deux éléments dans ces trois composés de 1 à 1, de 1 à 2 et de 1 à 3, sont comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$.

3° Les composés qui renferment un équivalent combiné avec 4, ne conduisent pas le courant et ne se lais-

sent pas décomposer La diminution rapide que l'action chimique du courant éprouve à mesure qu'augmente le nombre des équivalents qui entrent dans les composés, peut faire croire que, à l'aide de courants électriques très-forts, on parviendra à décomposer ces combinaisons.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ VOLTAIQUE SUR L'ESPRIT PYROLIGNEUX ET LES SOLUTIONS DANS L'EAU, D'ALCOOL ET D'ÉTHER.

1497. M. Arthur Connell, dont j'ai fait déjà connaître les travaux relatifs à l'action de la pile sur l'alcool et quelques autres liquides, a voulu démontrer aussi l'analogie parfaite qui existe entre l'action de l'électricité sur l'esprit pyroligneux et sur l'alcool, afin de confirmer l'analogie que l'on a remarquée entre ces composés. Il a donné en même temps quelques détails sur les produits secondaires formés dans les solutions aqueuses, et sur la nature des changements opérés dans des solutions alcoolique sous l'influence du courant. Toutes ces questions sont d'un tel intérêt pour l'électro-chimie organique, que je crois devoir les traiter avec des développements suffisants, afin que le lecteur ait une idée nette des résultats qui ont été obtenus.

§ I^er^. *Action des courants sur l'esprit pyroligneux.*

1498. L'esprit pyroligneux, comme on le sait, a été l'objet des recherches de MM. Macaire et Marcet, du docteur Thomson, ainsi que de MM. Dumas et Péligot. Sans entrer dans l'examen des différents résultats obtenus par ces chimistes, je dirai que c'est à MM. Dumas et Péligot que l'on est redevable de notions exactes sur la nature et la constitution de ce composé. D'après l'analogie que

l'on a trouvée entre l'alcool et les éthers et d'autres composés, on pouvait s'attendre qu'elle devait également avoir lieu entre l'acide pyroligneux et l'alcool dans leurs rapports voltaiques, comme dans leur composition et leurs propriétés générales; c'est ce dont nous allons nous occuper.

L'esprit pyroligneux soumis à l'expérience avait une légère teinte jaune; sa pesanteur spécifique était de 0,851 à 16°,67 cent. Traité avec de la chaux étendue, il ne se dégageait point d'ammoniaque, soit à chaud, soit à froid. Par une simple distillation avec de la chaux vive en poudre, il devenait entièrement incolore et transparent. Après une seconde distillation avec de la chaux vive, sa pesanteur spécifique était de 0,808 à 16°, 67 cent.

1499 Avant d'exposer les résultats de l'action d'un courant sur ce composé, je rappellerai les principaux faits qu'on a observés en faisant réagir un courant électrique sur l'alcool.

1° Sous l'influence d'un courant électrique puissant, l'alcool absolu laisse dégager de l'hydrogène au pôle négatif, et aucun gaz au pôle positif;

2° En dissolvant de petites quantités d'acide, d'alcali ou d'un sel, dans de l'alcool absolu, l'action du courant voltaique est très-favorisée. $\frac{1}{10000}$ de potasse produit déjà un effet marqué;

3° En opérant dans des vases métalliques, il y a dégagement de gaz au pôle positif,

4° La quantité d'hydrogène obtenue au pôle négatif est la même que celle que l'on recueille avec de l'eau soumise au même courant;

5° Outre le gaz dégagé, il se forme dans le liquide plusieurs produits, qui sont les mêmes ou analogues à ceux qui résultent de l'oxidation de l'alcool, entre autres une matière résineuse, et de l'acide carbonique qui se combine avec la potasse;

6° Ces divers résultats indiquent que l'eau contenue dans l'alcool est le sujet immédiat de l'agent voltaïque;

que son hydrogène se dégage au pôle négatif, et que son oxigène donne naissance, par une action secondaire, aux produits de l'oxidation, qui se dissolvent dans le liquide ou se précipitent;

7° On voit, d'après cela, que l'alcool absolu doit nécessairement contenir de l'eau comme principe constituant.

Ces faits, et les conclusions que M. Connell en a tirées, sont également applicables à l'esprit pyroligneux, comme on va le voir. Je dirai seulement qu'il faut des courants moins puissants pour produire les mêmes effets sur ce composé que sur l'alcool circonstance qui est due probablement à la quantité absolue d'eau plus grande, quoique dans une proportion atomique qui est la même, dans un poids donné du premier de ces liquides

1500 On a soumis à l'action d'une pile de 72 éléments, de l'esprit pyroligneux rectifié, dans un tube, au moyen de deux lames de platine; en quelques minutes il s'est dégagé du gaz, qui a été recueilli sur le mercure. Quelque temps après, le liquide s'était échauffé. Les lames de platine ayant été placées à une distance d'environ $\frac{1}{20}$ de pouce, afin de favoriser l'action, on n'a pu savoir de quelle lame provenait le gaz; mais, d'après sa nature, on ne put douter qu'il ne vînt de la lame négative. On en a obtenu $\frac{1}{7}$ de pouce cubique. L'action de la batterie ayant diminué, le dégagement de gaz s'est très-ralenti. Ce gaz était composé d'hydrogène mélangé d'air et de quelques traces de vapeur d'esprit pyroligneux.

Une petite quantité de potasse caustique activait fortement l'action décomposante, comme pour l'alcool. Avec $\frac{1}{350}$ de potasse caustique et une pile de 36 éléments, on obtenait un pouce cubique de gaz en un quart d'heure.

Avec une pile de 50 éléments et de l'esprit contenant environ $\frac{1}{600}$ de potasse, on obtenait encore du gaz, mais seulement sur la lame négative. Quand on substituait une capsule de platine au vase de verre qui renfermait l'esprit, il se dégageait du gaz sur les deux lames comme avec l'alcool, dans les mêmes circonstances.

Lorsque l'esprit pyroligneux ne renfermait qu'une très-petite quantité de potasse, on n'a pas reconnu de traces de carbonate de potasse; mais il n'en a pas été de même en employant une forte solution d'alcali : dans ce cas, et en ne se servant que d'une pile de 36 éléments, on a eu un dégagement de gaz sur les deux lames, mais en plus grande quantité sur la lame négative que sur la lame positive. Le liquide bouillonnait en quelques minutes, et acquérait bientôt une couleur rouge. Il se déposait une grande quantité de carbonate de potasse. Le liquide rouge acquérait en même temps une forte odeur; mélangé avec de l'eau, il se troublait et acquérait une teinte jaune, due à la séparation de la matière huileuse, ou résineuse, ou de l'éther, qui s'était formée pendant l'action voltaique. On voit-donc qu'avec l'esprit pyroligneux, comme avec l'alcool, l'eau est décomposée; l'hydrogène se dégage au pôle négatif, tandis que son oxigène donne naissance par une action secondaire à de petites quantités de matière résineuse, huileuse ou éthérée, ainsi qu'à de l'acide carbonique, quand l'action est énergique Tout porte à croire que l'accroissement qu'éprouve l'action voltaique, par la présence de la potasse dans l'alcool et l'esprit pyroligneux, dépend de son affinité pour les produits secondaires.

1501. Pour s'assurer que l'eau avait été directement décomposée, on a introduit dans le circuit un voltaimètre. Les deux pôles négatifs ayant donné la même quantité d'hydrogène, on a dû en conclure que l'esprit pyroligneux, comme l'alcool, contient réellement de l'eau, comme principe constituant essentiel. Dès lors l'esprit pyroligneux peut être considéré comme un hydrate d'éther pyroligneux, de même que l'alcool est un hydrate d'éther sulfurique. D'après ces idées, la formule de l'éther pyroligneux sera $H^6 C^2 O$, et celle de l'esprit pyroligneux $H^6 C^2 O + H^2 O$.

§ II. *Action du courant voltaïque sur les solutions aqueuses d'hydracide ou de sels haloïdes.*

1502. M. Connell a essayé de montrer, dans son premier mémoire, qu'un courant électrique, assez intense pour décomposer l'eau distillée, ne dégageait pas de chlore ou de l'iode des solutions aqueuses des hydracides correspondants et des sels haloïdes, dans lesquelles le dégagement d'oxigène n'avait pas lieu au pôle positif de la solution, mais bien dans de l'eau distillée en relation avec cette solution, au moyen d'une mèche d'asbeste, et que ce n'était qu'après un temps considérable que le chlore ou l'iode apparaissait dans l'eau positive, où l'on avait fait passer l'acide de manière à donner lieu à une action secondaire. Par exemple, quand une solution d'acide hydro-chlorique, étendue de deux ou trois fois son volume d'eau, est placée dans un tube A (fig. 78) en relation avec le pôle négatif d'une batterie de 60 éléments de quatre pouces, et de l'eau distillée se trouve dans un tube semblable B, en rapport avec le pôle positif, les deux tubes communiquant ensemble au moyen d'une mèche d'asbeste, en quelques minutes on obtient de l'acide au pôle positif avec dégagement de gaz des deux côtés, et, peu après, on sent une très-faible odeur de chlore. En plongeant un papier réactif dans les liquides, on n'observe point de changement dans sa couleur. Une demi-heure après, l'odeur du chlore en B est encore légère, et le liquide qui y est renfermé donne une réaction sensible acide, tandis que le liquide de l'autre tube n'a point d'odeur de chlore et ne blanchit pas le papier. En renversant les communications, une forte odeur de chlore se fait sentir du côté du tube positif, avec une vive effervescence au pôle négatif et une moindre au pôle positif, le papier à réactif est blanchi aussitôt au pôle positif.

En opérant avec une solution légère d'acide hydriodique, toutes les circonstances étant exactement les mêmes que dans l'expérience précédente, on observe

d'abord une couleur brune due à la séparation de l'iode, dans le liquide B, avec dégagement de gaz aux deux pôles; on obtient en même temps une légère réaction acide sur la feuille du même côté. La couleur brune va en croissant, ainsi que la réaction acide au pôle positif. Le dégagement de gaz continue aussi de ce côté, mais il est moins considérable que sur la lame négative. Au bout d'environ 20 minutes, si les communications sont renversées, la feuille positive se recouvre aussitôt d'iode sans dégagement de gaz, tandis qu'une vive effervescence a lieu en même temps sur la lame négative L'apparence du chlore ou de l'iode au pôle positif, avant le renversement, est due évidemment à l'acide qui passe dans l'eau positive. Cet effet a lieu plus rapidement dans le cas de l'iode que dans celui du chlore, probablement parce que l'acide hydriodique est plus facilement décomposable que l'acide hydro-chlorique.

Après le renversement, on ne voit pas immédiatement du chlore ou de l'iode au pôle positif, parce que l'oxigène est entièrement employé à décomposer l'acide correspondant

L'expérience a été répétée avec trois tubes (fig. 79)? les tubes B et C renfermant de l'eau, et le courant étant fourni par une pile de 72 éléments On avait dans ce cas une légère effervescence aux deux pôles, au bout de une à deux minutes. Après une demi-heure, le liquide en C a commencé à acquérir une légère teinte brune, avec une faible réaction acide au pôle positif; et, 10 minutes après, la teinte brune C était bien marquée, sans qu'il y eût la moindre décoloration dans le liquide de B ou de A. On avait en même temps la réaction acide sur l'asbeste entre B et C. La batterie ayant été renversée, il en résulta une décoloration au pôle positif, sans effervescence, tandis qu'il se dégageait du gaz au pôle négatif. L'iode, qui apparaissait dans le liquide positif, avant le renversement, provenait d'une action secondaire sur l'acide, qui avait marché jusqu'au pôle positif, à travers le liquide en B.

1503 En mettant une solution peu saturée de chlorure de potassium en A (fig. 78), et de l'eau distillée en B, et expérimentant avec une pile de 72 éléments, chacun de quatre pouces carrés on a obtenu, en deux ou trois minutes, de l'acide au pôle positif avec un dégagement de gaz aux deux pôles. Au bout de huit minutes, on observait une légère odeur de chlore, ainsi qu'une réaction acide du côté positif en A; 7 minutes après, le papier réactif ne blanchissait pas quand on le plongeait dans l'un des tubes; enfin on ne distinguait pas d'odeur de chlore en A.

Avec une solution peu saturée d'iodure de potassium, en cinq minutes, on a eu une réaction acide en A, on a observé, en même temps, du même côté, une teinte brune près de l'extrémité de l'asbeste, laquelle s'étendait jusqu'à la feuille positive, la couleur du liquide négatif n'étant point changée.

Ces résultats sont entièrement conformes à ceux qu'on a obtenus avec les hydracides; le chlore ou l'iode apparaissent en vertu du passage de l'acide au côté positif, et de l'action secondaire qu'il éprouve de la part de l'oxigène

L'action secondaire est plus forte dans le cas de l'iodure de potassium, tandis que la quantité d'acide qui se rend du côté positif est beaucoup plus petite que dans le cas du chlorure de potassium.

§ III. *Action des courants sur les solutions alcooliques.*

1504 Je vais examiner maintenant la nature des changements produits par l'action du courant sur des solutions alcooliques d'une très-grande force

Lorsqu'un sel oxacide à base puissante, comme le nitrate de chaux, est dissous dans l'alcool absolu, l'acide et la base cheminent chacun à leur pôle respectif, comme dans une solution aqueuse; mais l'action est beaucoup plus lente. Il y a dégagement de gaz au pôle négatif, et peu ou point au pôle positif. Quand la base est facile-

ment réductible, comme dans le nitrate de zinc, le dégagement de gaz au pôle négatif est moindre, et le métal réduit par l'hydrogène se dépose à ce pôle, mêlé avec de l'oxide.

Quand la solution d'un acide dont les éléments sont fortement unis, comme l'acide borique, ou d'un alcali, comme la potasse, est soumise à l'action du courant, il y a effervescence au pôle négatif et non au pôle positif; excepté lorsqu'on opère sur une forte solution d'un alcali hydraté

1505 Toutes les fois qu'un fort dégagement de gaz se manifeste au pôle positif, rien n'indique pour cela la décomposition du corps dissous. Quand le métal d'un sel haloïde possède de grandes affinités, comme le potassium, le calcium ou le magnesium, il y a alors un dégagement rapide d'hydrogène, et l'oxide du métal paraît en plus ou en moins grande quantité au pôle négatif. Dans ce cas, il est probable qu'une portion de l'hydrogène naissant se combine avec l'élément électro-négatif du sel haloïde et que le métal séparé réagit sur l'eau de l'alcool; l'oxide se dissout dans l'alcool, quand il en est capable. Là où le métal est d'une réduction facile, comme dans le cas de l'oxide de zinc, l'effervescence au pôle négatif est diminuée, quoiqu'elle ne cesse pas, et le métal se sépare par suite de la combinaison d'une partie de l'hydrogène avec l'élément électro-négatif du sel haloide.

Passons maintenant aux changements produits par l'action des courants sur de l'alcool contenant une forte quantité de potasse. Après une action de 20 à 30 minutes, le liquide commence à prendre une couleur foncée; une heure après on trouve sur la lame positive une substance blanche, qui n'est autre que du carbonate de potasse. Au bout de quelques heures, l'effervescence est faible au pôle négatif et nulle au pôle positif, le liquide possède alors la couleur du vin de Porto; après une action de près de vingt-quatre heures, l'effervescence est faible et la couleur devient d'un rouge très-sombre. En évaporant la solution jusqu'à siccité et dissolvant dans

l'eau le résidu, et le saturant avec de l'acide hydro-chlorique, on a un précipité abondant de matière résineuse.

1506. M. Dobereiner (1) a observé aussi la formation d'une matière résineuse, en petite quantité à la vérité, dans une solution alcoolique de potasse, soumise à l'action d'un courant, mais il n'a point fait mention du dégagement de gaz à l'un des deux pôles, comme l'indique M Connell; il se borne seulement à considérer la formation de cette matière résineuse, comme un effet de l'oxidation de l'alcool.

M. Connell, ayant recueilli le gaz dégagé, a trouvé qu'il était formé d'hydrogène, renfermant environ $\frac{1}{20}$ d'oxigène venu du pôle positif; il est probable que le reste de l'oxigène a été employé à produire l'action secondaire, d'où est résultée la matière résineuse.

1507. Tout concourt à prouver que lorsque des solutions alcooliques d'acide, d'alcali et de sels oxacides, sont soumises à des actions voltaïques, l'eau de l'alcool est le sujet de l'action directe du courant, tandis que les corps dissous, à l'exception des sels oxacides, ne sont pas décomposés Quant aux solutions alcooliques des sels haloïdes, il est permis de croire, d'après la présence de l'élément électro-négatif au pôle positif, du moins avec des iodures, que c'est réellement le sel haloïde qui est directement décomposé, et que la quantité définie d'hydrogène, recueillie au pôle négatif, provient de la réaction du métal du sel haloïde décomposé sur l'eau constituante de l'alcool. Telle est l'opinion que l'on peut avoir aujourd'hui, concernant l'action des courants sur les solutions alcooliques en général, opinion qu'on peut encore appuyer sur une foule de faits qui ne peuvent trouver place ici.

§ IV. *De l'état des sels haloïdes dans leur dissolution dans l'eau.*

1508 On a longtemps agité la question de savoir si

(1) Ann. de poggend, vol. xxiv, pag. 609

les chlorures et autres sels analogues sont dissous par l'eau ou décomposés par elle, c'est-à-dire, s'ils existent en solution à l'état de chlorure ou d'hydrochlorate; mais aujourd'hui les chimistes sont généralement d'accord que la première explication doit être la seule adoptée, en raison des propriétés du chlore.

M. Connell a fait une série d'expériences électro-chimiques dont les résultats lui paraissent propres à faire adopter l'opinion opposée Comme ces expériences ont donné des faits, je dois les faire connaître. Je ne rappellerai pas tous les arguments qui ont été mis en avant pour soutenir l'existence des chlorures dans les solutions aqueuses, attendu que cette discussion n'est pas de mon ressort, je me bornerai seulement à exposer les expériences principales qui ont été mises en avant par M. Connell pour combattre cette doctrine.

1509. De l'alcool absolu contenant $\frac{1}{40}$ d'iodure de potassium en solution a été mis dans un tube de verre, communiquant de chaque côté au moyen de mèches d'asbeste, humectées d'alcool, avec une coupe de verre contenant de l'eau; une de ces coupes était en relation avec le pôle négatif, et l'autre avec le pôle positif d'une pile de 50 plaques de 2 pouces L'appareil est représenté fig. 80 B est le tube qui renferme la solution alcoolique; A et C les coupes remplies d'eau. En huit minutes, l'iode a commencé à paraître en C autour du pôle positif avec dégagement de gaz aux deux pôles. Quarante minutes après, on n'a pu découvrir aucune trace d'acide ou d'alcali dans la dissolution alcoolique en B, attendu que les deux éléments du sel avaient été enlevés. D'un autre côté, on a trouvé de l'alcali dans toute l'étendue du pôle négatif en A, tandis que l'on n'a observé nulle part de réaction acide. A la fin de l'expérience, l'iode était à l'état libre en C, sans qu'il y en eût aucune trace en B ou en A.

Avec une batterie de 72 couples, de 4 pouces, et 3 tubes, l'iode a commencé à paraître en C au bout d'environ 4 minutes, 18 minutes après, on n'a pu découvrir ni acide ni alcali dans la solution alcoolique en B;

mais on a remarqué des traces d'acide sur l'asbeste communiquant avec la surface de l'eau positive en C, et l'alcali s'est montré d'abord au pôle négatif. Au bout de 3 quarts d'heure, il n'y avait encore ni acide ni alcali en B, tandis que la réaction acide était bien marquée à l'endroit où elle s'était d'abord montrée. Il y avait en même temps beaucoup d'iode libre en C.

1510. Mettons en regard ces résultats avec ceux qui ont été obtenus dans une solution aqueuse renfermant $\frac{1}{40}$ d'iodure de potassium, toutes choses restant les mêmes comme dans l'expérience précédente. On a observé d'abord une réaction acide sur le côté positif de la solution en B, avec de l'alcali sur l'asbeste entre A et B, et dégagement de gaz aux deux pôles, et cela dans l'espace de 15 minutes. Pendant 40 minutes on ne voyait que de légères traces d'acide au pôle positif et sur l'asbeste entre B et C, tandis qu'une sorte de réaction acide continuait dans le liquide en B, et une réaction alcaline au pôle négatif et sur l'asbeste en A et B. Une légère décoloration de l'eau avait commencé au bout de ce temps en C, sans aucun changement de teinte en A ou en B.

Cette expérience a été répétée avec une forte solution aqueuse d'iodure de potassium, l'eau contenait un tiers de son poids de ce sel : en 5 minutes, on a obtenu des traces d'acide sur l'asbeste entre B et C, avec de l'alcali au pôle négatif. En 15 minutes il y avait aussi une trace d'acide au côté positif de la solution en B, tandis qu'au pôle positif il n'y avait pas d'acide. En 40 minutes, la réaction acide du côté positif de B était très-marquée, tandis que toutes les autres réactions acides l'étaient peu. On a observé aussi de l'alcali sur le côté négatif de B et au pôle négatif. En employant une batterie de 72 paires de plaques de quatre pouces, on a eu un peu d'acide au pôle positif en 5 minutes, et une forte quantité d'acide au côté positif de B, en 15 minutes, avec de l'alcali au pôle négatif et sur l'asbeste voisin. Pendant 40 minutes la réaction en B a continué à croître et est devenue très-forte, tandis qu'elle a continué à être très-légère à tous les endroits où on l'avait observée auparavant.

1511 Résumons les faits observés pour en tirer des conséquences relatives à la question qui nous occupe

1° Quand on opère sur des solutions alcooliques de chlorure et d'iodure dans les circonstances précédemment indiquées, on n'a pas observé qu'il y eût de l'acide produit. 2° Quand on emploie des solutions aqueuses de ces substances, les hydracides correspondants sont produits dans les solutions. 3° Quand on fait usage des solutions alcooliques, les hydracides correspondants sont produits au point de contact des solutions alcooliques et de l'eau avec laquelle ils sont en communication 4° Les hydracides provenant de ces deux opérations sont transportés au pôle positif qui se trouve dans l'eau. Voyons maintenant les conséquences que M Connell tire de ces faits :

Supposons, dit-il, que l'eau soit seulement décomposée directement dans la solution aqueuse, par une série de décompositions et de recompositions, suivant les idées reçues, jusqu'à ce que ses éléments soient transportés à leurs pôles respectifs, dans ce cas, on ne peut expliquer la production de l'acide dans la solution aqueuse, dans les circonstances décrites, si l'on suppose que le chlorure ou l'iodure seul soit décomposé directement, et que ses éléments se dirigent de la même manière vers leurs pôles respectifs, on peut faire la même objection. Si l'on admet, enfin, que l'eau et le chlorure ou l'iodure éprouvent la décomposition électro-chimique, et que leurs éléments qui se dirigent sur le même pôle, s'unissent dans leur route, ou bien que l'élément électro-négatif de l'eau s'unisse avec l'élément électro-positif du sel, et que les deux autres éléments se combinent aussi ensemble, la première de ces alternatives se trouve en opposition avec le fait observé, savoir, que l'acide en passant au pôle positif est l'hydracide et non l'oxacide. La seconde n'est pas seulement en désaccord avec les idées généralement reçues, que les éléments sont transportés par le courant à leurs pôles respectifs, par une série de décompositions et de recompositions; mais elle ne s'accorde pas non plus

avec la circonstance de la non production d'acide dans la solution alcoolique ; car l'alcool contient de l'eau, qui éprouve une décomposition voltaique ; ainsi donc, une solution alcoolique, aussi bien qu'une solution aqueuse, présente la condition nécessaire pour une double décomposition, si une décomposition semblable peut réellement se présenter Les faits observés paraissent donc, suivant M. Connell, en désaccord avec l'idée que les chlorures et les iodures sont dissous comme tels dans l'eau.

Ces mêmes faits, d'après lui, peuvent être expliqués en admettant que les haloides sont à l'état d'hydro-chlorates, d'hydriodates, etc Quand un sel, composé d'acide et d'alcali, est dissous dans l'eau, ses principes constituants se rendent, sous l'action voltaique, à leurs pôles respectifs, dans les expériences précédentes, l'acide doit être formé dans la solution, du côté positif, et s'y accumuler, s'il est produit plus rapidement que transporté dans l'eau positive, ce que démontre l'expérience.

Pour comprendre ceci, il faut se rappeler que lorsque les pôles sont dans la solution, l'acide doit d'abord paraître au pôle positif et se répandre dans le liquide où il s'accumule ; mais quand les pôles sont au delà de la solution, l'acide doit cheminer de la solution au pôle à travers l'eau interposée, et s'il n'est pas transporté à travers l'eau aussi vite qu'il se forme, il doit s'accumuler dans la solution. Je ne poursuivrai pas plus loin la discussion que M. Connell a soulevée, contrairement à l'opinion générale ; je me bornerai à dire qu'en résumé, ses expériences tendent à mettre en évidence les faits suivants · que dans une solution alcoolique d'acides, d'alcalis et de sels haloides, l'eau de l'alcool seulement est décomposée.

Les phénomènes électro-chimiques ne prouvent pas que l'éther contienne de l'eau, attendu que lorsqu'on soumet à l'action d'une batterie de 50 piles de 2 pouces des solutions de potasse, d'acide chromique dans l'éther, il n'y a aucune apparence de décomposition, et le multiplicateur n'est pas affecté ; tandis que dans les solutions

aqueuses et alcooliques, l'eau, et non le corps dissous, est décomposée.

Il arrive ainsi à la conclusion générale suivante : quand des solutions de combinaisons binaires, de substances élémentaires, dans l'eau, l'alcool ou l'éther, sont soumises à l'action d'un courant, la substance dissoute n'est pas directement décomposée, mais seulement le dissolvant, s'il est un électrolyte. Cette loi est naturellement limitée aux composés des corps élémentaires; car lorsqu'un sel est dissous dans l'eau, ses deux éléments sont séparés sous l'influence de l'action voltaïque.

CHAPITRE VII

DES MODIFICATIONS CHIMIQUES QU'ÉPRO[illegible]ENT L'ACIDE NITRIQUE, L'ALCOOL, SOUS LA DOUBLE [illegible]NFLUENCE DU COURANT VOLTAIQUE ET DU PLATINE, E[illegible].

1512. On a vu, dans le chapitre préc[illegible]ent, l'action qu'exerce un courant voltaïque sur l'alc[illegible]l, l'éther, et divers composés analogues. Les résultat[illegible]obtenus à ce sujet par M. Connell confirment les vues [illegible]les chimistes sur la composition de l'alcool et de l'éther; M[illegible] Schœnbein a étudié aussi l'action d'un courant sur l'al[illegible]ol et l'éther, ainsi que sur l'acide nitrique, mais sous [illegible] autre point de vue (1).

Lorsque l'on soumet à l'action d'un cou[illegible]nt de l'acide nitrique concentré, il n'y a point de [illegible]gagement de gaz sur le fil négatif, attendu que ce gaz, [illegible]i est de l'hydrogène, se combine avec une partie d[illegible] l'oxigène de l'acide nitrique qu'il transforme en acide [illegible]itreux. Avec de l'acide nitrique étendu, on obtient d[illegible] l'oxigène et de l'hydrogène aux deux pôles; néanmoins [illegible] si l'on opère avec de l'acide nitrique le plus concentré [illegible]ssible, il se fait un dégagement de gaz pendant quelq[illegible] instants au pôle négatif. Pour se rendre compte de[illegible]es différents effets, M. Schœnbein s'est livré à une série [illegible]e recherches dont je vais donner une idée.

---

(1) Bibl. univ. de Genève, t. xxi, p. 358.

1513 Si l'on soumet à l'action d'une pile composée de 16 éléments, au moyen de deux lames de platine, de l'acide nitrique à 1, 49, il se dégage au pôle négatif un gaz pendant une seconde au plus, qui est probablement de l'hydrogène. En étendant le liquide de la moitié de son volume d'eau, le dégagement de ce gaz dure plusieurs secondes. Avec un mélange d'acide à parties égales, le dégagement dure au moins une demi-minute; et s'il y a deux fois autant d'eau que d'acide, le dégagement de gaz est continu La grosseur du fil négatif exerce une telle influence sur la durée du dégagement, que cette durée est d'autant plus courte que le diamètre du fil est plus fort Nous verrons bientôt que l'état de cohérence du platine, ainsi que la force du courant, exercent également une grande influence sur les résultats

Lorsque le dégagement de gaz doit cesser, en opérant avec un degré de concentration convenable, on peut, à l'aide des moyens suivants, mettre le fil de platine négatif dans un tel état qu'il ne s'y dégage point de gaz.

Premier procédé · Si, avant de plonger le fil négatif dans le liquide, on le met en contact avec le fil polaire positif qui s'y trouve déjà, et qu'on l'y plonge ensuite, en l'éloignant de l'autre, il ne se dégage point de gaz autour de ce fil négatif. Cet effet n'a pas lieu dans un mélange composé d'un volume d'acide nitrique à 1, 49, et d'un volume d'eau. Second procédé · Quand le fil polaire positif plonge déjà dans le liquide et qu'on y plonge ensuite l'autre, chauffé préalablement au rouge, il n'y a point de dégagement de gaz Le troisième procédé consiste à faire passer un fil d'un état à l'autre. Si les deux fils polaires plongent dans le liquide, et que le fil négatif se trouve à l'état de préparation précédemment indiquée, un second fil de platine, non préparé, qui communique par l'un de ses bouts avec le fil négatif, peut être introduit dans l'acide sans qu'il y ait pour cela dégagement de gaz. L'état passif de ce second fil subsiste même après avoir retiré le fil préparé Lorsqu'un fil de platine a perdu la faculté de laisser dégager de l'hydrogène à sa surface, on peut

la lui rendre en retirant le fil du liquide et le laissant pendant quelque temps exposé à l'air. Plus l'acide est concentré, plus le fil doit rester longtemps dehors.

1514. Les expériences suivantes feront connaître avec détails le mode d'action exercée par un courant sur l'acide nitrique.

1[re] *Expérience* Un fil de platine, d'une demi-ligne de diamètre, qui a fonctionné pendant 5 secondes comme électrode négatif, se recouvre de petites bulles de gaz. Si l'extrémité de ce fil est terminée par une éponge de platine, il ne se dégage pas de gaz, ni au moment de l'immersion ni après. Cette différence dans les effets est remarquable.

2[e] *Expérience* En expérimentant sur un mélange composé de 3 volumes d'acide nitrique à 1,36 et d'un volume d'eau, le fil polaire négatif ne peut passer à l'état passif que par la chaleur rouge et par le transport On y parvient également en retirant le fil hors du circuit pendant quelques instants.

3[e] *Expérience.* De l'éponge de platine qui a servi d'électrode négatif, arrête tout dégagement de gaz.

1515. M. Schœnbein a fait encore d'autres expériences, en variant les proportions de l'acide et de l'eau, afin de mettre en évidence ce qui est relatif à la passivité de l'éponge. Mais je me bornerai aux deux suivantes : Quand le liquide est formé d'un volume d'acide nitrique à 1, 35, et de 3 volumes d'eau, si l'on ferme le circuit avec de l'éponge de platine chauffée au rouge, il s'écoule environ 6 secondes avant que le dégagement d'hydrogène commence En chauffant l'éponge humectée d'acide, on diminue sensiblement la vivacité du dégagement de l'hydrogène, mais sans l'arrêter.

Avec de l'acide renfermant 4 volumes d'eau, les effets sont les mêmes, lorsque l'éponge est chauffée au rouge ; mais si on chauffe l'éponge humectée d'acide, le dégagement de gaz a lieu immédiatement. Ce dégagement ne dure que quelques instants, puis il recommence au bout de quelques secondes pour ne plus s'arrêter.

Je me borne à exposer les faits sans chercher à les expliquer, attendu que je ne pourrais le faire que d'une manière incomplète, les phénomènes de la passivité du fer et de quelques autres corps dépendant de causes qui ne sont pas encore bien connues.

1516. J'arrive maintenant aux effets obtenus avec l'alcool et l'éther. Les expériences de M. Dœbereiner ont montré que le platine dans un grand état de division détermine l'alcool à absorber assez rapidement de l'oxigène qui se combine avec une portion de son hydrogène. M Schœnbein a pensé qu'il était probable que l'oxigène qui se dégage sous l'influence du courant voltaïque, et qui est à l'état naissant, pourrait agir chimiquement sur les liquides hydrogénés, par exemple, sur l'alcool, au lieu de se dégager à l'état de gaz sur l'électrode positif. Voyons comment l'expérience a confirmé cette conjecture. On prend 1 volume d'eau et 2 volumes d'alcool dans lequel on fait dissoudre une petite quantité d'acide phosphorique hydraté pour le rendre meilleur conducteur Si l'on fait passer dans ce liquide le courant d'une pile de 16 éléments, en prenant une éponge de platine pour électrode positif, et que l'on ferme le circuit avec un fil négatif, il ne se dégage pas d'oxigène sur l'éponge, pourvu toutefois qu'on l'ait fait chauffer jusqu'au rouge avant l'immersion Si l'immersion a lieu à froid, il se dégage d'abord quelques bulles à sa surface, qui cessent peu d'instants après, tandis que l'hydrogène devient libre sur le fil négatif.

Lorsqu'on substitue un fil de platine à l'éponge, il se dégage toujours de l'oxigène, quel que soit le mode de préparation qu'on lui ait fait subir Pour savoir ce que devient l'oxigène dans cette circonstance, il aurait fallu analyser avec soin le liquide, ce que n'a pu faire encore M. Schœnbein, il présume seulement qu'il doit se former de l'éther oxigéné de Dœbereiner ou de l'acétate d'éther de Liebig.

Quand on opère avec un mélange formé de volumes égaux d'eau, d'alcool et d'acide sulfurique ordinaire, on

obtient des résultats qui s'accordent parfaitement avec ceux dont on vient de parler Ce n'est qu'en se servant d'éponge de platine comme d'électrode positif, que le dégagement d'oxigène peut être entièrement arrêté, et que l'on sent l'odeur d'acétate sur la surface du métal.

En opérant avec un mélange d'un volume d'acide nitrique à 1, 35, et d'un volume d'alcool, il ne se dégage aucun gaz sur les électrodes, quand l'un et l'autre sont en éponges de platine En se servant de platine compacte pour l'électrode négatif, il se fait sur ce dernier un vif dégagement d'hydrogène Quand l'électrode positif est formé d'un peloton un peu gros de fil de platine, on ne voit paraître également aucune trace d'oxigène à sa surface. L'odeur d'acétate se fait sentir sur le platine en éponge ou en peloton, de même que dans les cas précédents

Si l'on opère sur un mélange composé de volumes égaux d'acide nitrique, d'alcool et d'eau, le dégagement d'hydrogène sur l'électrode négatif formé d'une éponge de platine a lieu sans obstacle; tandis qu'il ne se montre pas sur l'électrode positif formé de platine en éponge ou de platine compacte.

Si l'on se sert de fer pour électrode positif et qu'on ferme le circuit, il se fait à sa surface un dégagement d'oxigène assez vif. M. Schœnbein pense que ce fait démontre que le phénomène ne provient pas de ce que l'oxigène, étant à l'état naissant, réagit alors sur l'alcool, mais qu'il doit être attribué à l'influence spécifique que le platine exerce sur l'oxigène et l'hydrogène En prenant pour électrode un fil d'or, il se dégage à sa surface de l'oxigène, mais en moins grande quantité que sur le fer.

Avec de l'alcool mêlé à une forte solution de potasse, on ne peut empêcher le dégagement de l'oxigène sur l'électrode positif.

En soumettant à l'expérience un mélange saturé d'éther et d'acide nitrique, il ne se dégage point d'oxigène sur l'électrode positif formé de platine compacte ou d'éponge. En employant un fil de platine comme électrode

négatif, il se fait à sa surface un dégagement d'hydrogène très-vif; mais si l'on y substitue une éponge chauffée préalablement avant l'immersion, il n'y a pas de dégagement de gaz. A l'instant où l'on forme la pile, il se fait sur l'électrode négatif un fort dégagement de gaz qui s'arrête au bout de quelques secondes, etc.

Les expériences précédentes suffisent pour montrer que dans des circonstances données on peut développer, dans l'oxigène rendu libre par la décomposition électro-chimique, la faculté d'exercer une action chimique sur l'éther et l'alcool.

Les indications générales que je viens de présenter laissent entrevoir la possibilité d'employer avec succès l'action des courants électriques de faible intensité, pour produire des composés organiques analogues aux produits inorganiques que j'ai obtenus dans des appareils convenablement disposés. Je dois dire que M Connell et un autre chimiste avaient obtenu déjà une matière résineuse en faisant réagir l'électricité par l'alcool

On ne peut disconvenir qu'il ne soit difficile d'expliquer les faits que je viens de rapporter; je dois donc me borner à les rapporter, sans chercher à les lier par une théorie qui serait à l'époque actuelle incomplète.

CHAPITRE VIII.

DE LA POLARISATION ÉLECTRIQUE DES CONDUCTEURS SOLIDES ET LIQUIDES.

1517. On sait que lorsque deux lames de platine qui ont servi à la décomposition électro-chimique d'une solution, plongent dans un liquide conducteur et sont mises en communication au moyen d'un fil de métal, elles jouissent de la propriété de donner naissance à un courant dirigé en sens inverse du premier. Cette propriété, qui a été observée pour la première fois par Ritter, a été l'objet des recherches de plusieurs physiciens, entre autres de MM. Matteucci, Delarive et de moi M. Schœnbein en a fait aussi tout récemment l'objet d'un travail dont je vais exposer la substance.

M Delarive a attribué la polarisation des lames à un état électrique particulier au fil polaire, produit par l'influence du courant primitif, tandis que je la considère comme le résultat d'une action chimique, c'est-à-dire, comme la conséquence du dépôt sur les lames décomposantes, de substances ayant le caractère acide ou alcalin. M. Schœnbein, qui ne partage pas cette dernière opinion, et désirant remonter à la cause du phénomène, a commencé par soumettre à l'expérience des liquides ne renfermant point de sel en solution, afin d'éviter le dépôt des substances acides ou alcalines.

Un tube en U a été rempli d'acide sulfurique parfaitement pur; dans chacune des branches se trouvait

un fil de platine très-propre, et en relation avec un galvanomètre à fil long, d'une grande sensibilité; l'aiguille aimantée n'éprouva aucune déviation. Ces fils furent mis en communication, pendant deux secondes, avec les pôles d'une pile dont le courant était assez fort pour décomposer l'eau. Les pôles de la pile ayant été enlevés et la communication rétablie entre les fils polaires, l'aiguille tourna avec violence plusieurs fois sur elle-même. Les effets furent encore les mêmes en soumettant à l'expérience un mélange d'acide sulfurique et d'eau, etc.

Tous ces courants ont une durée plus ou moins longue. Ce physicien a reconnu, ce que l'on avait déjà également observé, que si l'on interrompt le circuit, on peut encore, plusieurs heures après, obtenir un courant au moment où on le rétablit. M. Schœnbein a encore observé que si des fils polarisés, plongés dans de l'acide sulfurique étendu, restent en communication avec le multiplicateur, jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue à zéro, on voit reparaître un courant qui chemine dans la même direction que le premier courant secondaire, quand, après avoir rompu le circuit, on le rétablit quelques secondes après seulement, ce second courant secondaire a une intensité plus faible que le premier.

Les fils d'or produisent les mêmes effets que les fils de platine; cependant, toutes choses égales d'ailleurs, la déviation de l'aiguille est un peu plus considérable avec l'or qu'avec le platine. Il peut se faire que la différence de conductibilité entre les deux métaux soit la cause de cet effet.

1518 Si on substitue le fer à ces métaux, et qu'au lieu d'acide sulfurique étendu on prenne une solution de potasse, les fils, après avoir été traversés seulement pendant cinq secondes, par un courant qui peut à peine décomposer l'iodure de potassium, sont si fortement polarisés, que l'aiguille est déviée de 180°. Le zinc et d'autres métaux présentent les mêmes effets. M Schœnbein en tire les conséquences suivantes : Du seul fait que, dans l'acide sulfurique pur ou dans une solution de po-

tasse, les conducteurs sont polarisés par le passage d'un courant, on doit en conclure que ma théorie n'est pas exacte, attendu qu'il n'y a aucune décomposition de sel. Je répondrai à cette objection, que les faits observés viennent, au contraire, lui donner de la force. En effet, on a vu que deux lames de platine qui ont été mises en contact pendant quelque temps, l'une avec du gaz oxigène, l'autre avec du gaz hydrogène, acquièrent la propriété de produire un courant, quand on les plonge dans l'eau, et qu'on les met en communication avec un fil de métal, de même que si elles avaient servi à décomposer l'eau. Or, comme ces deux gaz, et en général deux gaz qui peuvent se combiner ensemble, jouent l'un le rôle d'acide, l'autre celui d'alcali, le résultat obtenu avec l'acide sulfurique ou la solution alcaline confirme l'explication que j'ai donnée.

Je dois ajouter cependant que M. Schœnbein a examiné jusqu'à quel point les particules élémentaires de l'eau qui adhèrent aux fils polaires pouvaient donner lieu au courant par leur combinaison. Les faits suivants lui ont paru contraires à cette idée. Lorsque l'on remplace l'électrode négatif par un fil de platine qui n'a pas été en communication avec la pile, et dont la surface, par conséquent, n'est pas recouverte d'hydrogène, il y a encore un courant produit. Dès lors, suivant lui, il faut rejeter la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène pour la cause du courant. Je répondrai que, dans ce cas, le courant est produit par la réaction de l'oxigène sur l'eau, d'où résulte de l'eau oxigénée. Dans cette réaction, l'oxigène produit de l'électricité positive, et l'eau de l'électricité négative. M. Schœnbein oppose encore à mon explication le fait cité plus haut, savoir, que lorsque par l'effet de la fermeture du circuit les fils polarisés ont entièrement cessé de produire un courant, ils reprennent ce pouvoir, si l'on vient à l'ouvrir et à le fermer ensuite. Il est probable que, dans cette circonstance, l'effet primitif est masqué par une contre-polarisation qui disparaît après quelques instants, lorsque l'oxigène et l'hydrogène se trouvant en présence sur la même lame de platine, se sont recombinés.

1519. M. Schœnbein ne paraît pas avoir une opinion arrêtée sur la cause du phénomène. Il rappelle cependant, à ce sujet, les résultats de ses recherches sur la variabilité du caractère électro-chimique du fer, et ce fait que ce métal, en le faisant fonctionner comme électrode positif, devient tellement négatif que, comme l'or et le platine, il laisse dégager à sa surface de l'oxigène obtenu par la voie électrolytique et n'est attaqué ni par l'acide nitrique ni par une solution de cuivre. Ce métal, ainsi modifié, se transforme de nouveau en élément positif, en le faisant fonctionner un instant seulement comme électrode négatif Si donc, ajoute-t-il, le fer naturellement positif devient négatif en fonctionnant comme électrode positif, il n'est pas étonnant que dans les mêmes circonstances les autres métaux subissent une semblable modification dans leurs propriétés électro-chimiques, et qu'ainsi le platine fonctionnant comme pôle positif devienne plus négatif encore qu'il ne l'est dans son état naturel, et qu'inversement ce métal devienne positif quand il fonctionne comme pôle négatif Ce n'est là encore qu'une explication vague, une conjecture, qu'on doit simplement considérer comme telle.

Je conviens que les phénomènes sont du même ordre; lorsque le fer fonctionne comme électrode positif, sa surface se recouvre d'une couche d'oxigène, de même que la lame de platine qui a servi d'électrode positif. Cette couche d'oxigène se trouve dans un tel rapport avec les particules du fer, qu'elle masque en quelque sorte leurs propriétés chimiques sur les liquides environnants. Mais le fer et le platine ainsi recouverts perdent peu à peu, soit à l'air libre, soit au contact du liquide, les particules d'oxigène, et rien n'empêche alors que celles-ci se combinent avec l'eau, d'où résulte un courant, comme je l'ai déjà dit.

Passons maintenant à d'autres phénomènes qui ont été observés par M. Schœnbein. On prend un tube recourbé en U, contenant de l'acide hydro-chlorique ou sulfurique parfaitement pur. On met pendant quelques se-

condes ce liquide en communication, au moyen de fils de platine, avec les pôles d'une pile capable de produire un dégagement de gaz; puis on remplace les fils polaires par d'autres fils qui n'ont pas encore été soumis à l'influence du courant, et l'on ferme le circuit dans lequel se trouve un multiplicateur. L'aiguille aimantée est déviée dans une direction qui annonce qu'un courant chemine de la partie du liquide qui était en communication immédiate avec le fil polaire négatif, vers la partie en communication avec le fil polaire positif.

Dans cette circonstance, la direction du courant n'est pas déterminée par l'état de polarisation des fils, mais bien par celui des liquides Ce fait a été observé également par M. Peltier, et bien antérieurement par M. Vanbeck, qui a trouvé qu'une solution d'eau salée, divisée en deux parties et dans l'une desquelles se trouvait une lame de cuivre et dans l'autre un morceau de fer en contact avec la lame, pouvait servir ensuite à garantir un morceau de cuivre, pendant quelque temps, sans la présence d'un morceau de fer. Nous voyons donc que les liquides peuvent se polariser comme les substances solides. Cette polarisation est la même dans les deux cas, attendu que lorsqu'on fait passer un courant dans de l'eau au moyen d'une lame de platine, la partie du liquide qui est située du côté de la lame positive renferme de l'oxigène, et la partie qui est du côté opposé, de l'hydrogène; aussi trouve-t-on les mêmes effets lorsqu'on opère avec deux portions d'eau en contact, dont l'une a été longtemps agitée avec l'oxigène, et l'autre avec de l'hydrogène Je le répète, les phénomènes dans les deux cas sont du même ordre et peuvent être expliqués au moyen des effets électro-chimiques.

1520 M Schœnbein a fait quelques expériences sur le rapport qui existe entre la force du courant secondaire produit par les fils polaires et la force du courant produit uniquement par les parties du liquide dans lesquelles des fils non polarisés plongeaient. Il paraît résulter de ces expériences, que ces rapports dépendent principalement de la nature chimique du liquide. Si ce liquide est de l'a-

cide hydro-chlorique, on peut, comme on l'a dit plus haut, changer la position respective des fils polaires, sans changer la direction du courant secondaire; dans ce cas, le courant secondaire produit par le liquide surpasse en énergie celui qui est dû aux fils polaires. Avec de l'acide sulfurique étendu d'eau on ne peut changer les fils polaires d'une branche du tube dans l'autre, sans changer aussi la direction du courant. Dans ce cas, il est évident que les fils sont plus fortement polarisés que le liquide.

1521. Le même physicien a reconnu que la durée des courants produits par les liquides polarisés, de même que celle des courants obtenus avec des fils polarisés, n'est point momentanée. Il paraît que le rapport qui existe entre le temps de la durée, dans les deux cas, dépend essentiellement de la nature du liquide. L'état de polarisation électrique semble se maintenir plus longtemps dans l'acide sulfurique pur que dans les lames métalliques

Quant au degré de facilité que possèdent les corps à prendre l'état de polarisation, il existe une grande différence entre les conducteurs solides métalliques et les conducteurs liquides.

L'expérience montre que le même courant, qui peut polariser sensiblement des lames de platine, n'a pas assez de force pour polariser de l'acide hydro-chlorique, celui de tous les liquides essayés jusqu'ici qui se polarise avec le plus de facilité.

D'un autre côté, les liquides jouissent, comme les solides, d'une propriété indiquée précédemment c'est de prendre de nouveau des électricités différentes sans avoir besoin d'un nouveau courant Il suffit pour cela de faire passer, pendant 10 secondes, à travers de l'acide hydro-chlorique, renfermé dans un tube en U, un courant qui ne décompose pas cet acide d'une manière sensible, d'introduire ensuite dans les branches du tube de nouveaux fils de platine, en communication avec le multiplicateur, et de tenir le circuit fermé jusqu'à ce que

l'aiguille soit revenue à zéro. Si l'on ouvre de nouveau le circuit et qu'on le referme cinq secondes après, l'aiguille est déviée, et reprend bientôt après sa position normale. On peut répéter plusieurs fois de suite ces différents effets.

M Schœnbein pense, relativement à la cause qui produit ces courants secondaires dans les liquides, que le courant primitif doit modifier d'une manière quelconque le liquide renfermé dans les branches du tube. Quelle est cette modification ? Tout en combattant mon opinion, il avoue que lorsqu'on emploie comme liquide d'essai, de l'acide sulfurique ou de l'acide hydro-chlorique, on voit paraître de l'hydrogène dans la colonne négative et de l'oxigène et du chlore dans la colonne positive, et qu'il pourrait se faire que les éléments devenus libres se combinassent entre eux; d'où résulterait un courant dirigé comme l'indique l'expérience Les considérations suivantes l'ont engagé cependant à rejeter cette explication Si l'on fait passer, pendant quelques secondes, à travers de l'acide sulfurique, un courant assez fort pour produire un dégagement de gaz, et qu'on chauffe ensuite l'acide jusqu'à l'ébullition dans les deux branches, de manière que les deux colonnes de liquide ne se mêlent pas, on obtient les mêmes effets avec ce liquide qu'avec celui qui n'a pas été chauffé L'acide hydro-chlorique soumis au même mode d'expérimentation, pendant 10 secondes, en employant un courant tellement faible qu'il ne produise pas de dégagement de gaz et qu'il décompose à peine l'iodure de potassium, se comporte de même. L'action électro-chimique, suivant M. Schœnbein, dans ces deux cas, est tellement faible, qu'on ne saurait admettre la présence du gaz dans le liquide. Je ne trouve pas la conséquence rigoureuse, car nous ne pouvons savoir quelle est la limite où s'arrête l'action décomposante du courant. Cette limite est bien au delà de celle que lui assignent les chimistes, attendu que ceux-ci veulent des produits formés, qu'on puisse recueillir, tandis que les physiciens ont d'autres caractères qui indiquent la décomposition.

1522. Enfin, M. Schœnbein conclut, de ses expériences, qu'il est très-vraisemblable qu'un courant produit un état de tension chimique entre les éléments de chaque molécule du liquide soumis à l'action du courant, lequel état de tension affaiblit momentanément l'affinité chimique des éléments de chaque molécule, et dispose ces molécules, par rapport aux électrodes, de manière que toutes les faces hydrogène des atomes d'eau sont tournées vers l'électrode négatif, et toutes les faces oxigène vers le positif. Suivant cette manière de voir, le courant secondaire serait dû à un état qui précède immédiatement la décomposition électro-chimique. Ce n'est encore là qu'une hypothèse gratuite, tandis que l'explication que j'ai donnée pour la polarisation des solides, et qui s'applique à la polarisation des liquides, est fondée sur des expériences qui paraissent s'y adapter parfaitement. En effet, si l'une des branches du tube en U renferme de l'eau qui a été longtemps en contact avec de l'oxigène, et l'autre de l'eau dans laquelle on a également agité de l'hydrogène, et qu'on plonge dans chacune d'elles une lame de platine très-propre, on a un courant dirigé dans le même sens que si les deux liquides avaient été polarisés par un courant, or, il est évident que si l'on fait chauffer les deux colonnes de liquide pendant quelques instants, on a encore un courant, mais moins fort que le premier, parce qu'il est extrêmement difficile d'enlever les dernières particules de gaz au liquide. D'après cela, je persiste dans l'opinion que j'ai émise pour expliquer la polarisation des lames métalliques et des liquides, sous l'influence d'un courant voltaïque.

CHAPITRE IX.

DES CAUSES QUI DÉTERMINENT L'UNIPOLARITÉ DANS CERTAINS CONDUCTEURS.

1523. J'ai déjà traité, dans cet ouvrage, la question relative aux conducteurs unipolaires; mais, comme les phénomènes qui s'y rapportent ont été étudiés depuis avec de grands développements par plusieurs physiciens et particulièrement par M. Ohm (1), j'ai pensé que le lecteur verrait avec intérêt le précis des observations que ce dernier a faites et des conséquences qu'il en a tirées, pour l'interprétation des phénomènes unipolaires en général.

On sait que lorsqu'on introduit dans un morceau de savon bien sec deux fils de métal en relation avec les deux pôles d'une forte pile, chaque pôle conserve sa tension primitive, et que si l'on touche avec un corps conducteur l'un d'eux, alors ce même pôle perd sa tension, tandis que l'autre conserve la sienne, comme si le circuit n'était pas fermé. La pile donne seulement dans ce cas des traces de courants électriques. Ces phénomènes sont communs aux savons et aux corps médiocres conducteurs; mais ce qui distingue le savon de ces derniers, c'est que si l'on touche le savon avec un corps

(1) Journal de Schweigger, vol. xxix, p 385, etc, et vol xxx, p. 385, etc.

conducteur, le pôle négatif se décharge, tandis que le pôle positif acquiert le maximum de tension qu'il prend quand l'autre est en communication avec la terre.

Les effets sont encore les mêmes quand on place dans le circuit de l'eau avec une éponge entre le savon et le fil négatif, mais si l'eau se trouve entre le fil positif et le savon, les deux pôles perdent leur tension. Dans ce cas, si un appareil décomposant fait partie du circuit, il y a dégagement de gaz

Erman, à qui est due la découverte de cette propriété, a prouvé que le blanc d'œuf desséché en jouissait également ainsi que la flamme de phosphore, tandis que les flammes de gaz hydrogène et de tous les corps combustibles qui renferment ce même gaz produisent un effet opposé, c'est-à-dire, que le pôle positif se décharge, tandis que le pôle négatif acquiert sa plus forte tension quand on touche la flamme avec un corps bon conducteur. Les premiers ont été appelés corps unipolaires négatifs; les seconds, par opposition, corps unipolaires positifs.

1524. Fechner a critiqué avec raison cette classification tendant à donner un nom à chaque corps qui ne possède peut-être pas une propriété absolue; en effet, on a vu que le savon se change tout à coup en un conducteur également bon pour les deux électricités, aussitôt que l'on introduit de l'eau entre ce corps et le fil positif. Ce fait paraît entraîner la conséquence que l'inégalité d'action des deux pôles ne dépend pas de la nature du savon, mais d'une résistance particulière qui se développe au contact du métal positif et du savon par l'action du courant. Je passe sous silence les diverses théories qui ont été données des phénomènes unipolaires, pour exposer de suite les recherches de M Ohm Suivant ce physicien, la cause du phénomène n'existe pas, comme je viens de le dire, dans le savon, mais elle s'y développe par l'action du courant, dès l'instant où le circuit est fermé; ainsi le savon en communication avec la terre ne possède pas immédiatement la faculté que

je viens d'indiquer, il ne l'acquiert que quelque temps après; voyons comment ce fait est établi par l'expérience.

1525. On prend un morceau de savon en communication avec le sol au moyen d'une plaque de métal, de la face inférieure du morceau de savon part un fil de métal que l'on met en rapport avec le pôle négatif, et de la face supérieure un fil en communication avec le pôle positif; on place ensuite entre ce dernier et le morceau de savon une mince couche de vernis isolant Au moyen de cette disposition on reproduit fidèlement toutes les propriétés unipolaires du savon

Voici d'autres expériences qui prouvent que l'unipolarité n'existe pas dans le savon, mais qu'elle y est produite, après la fermeture de la chaîne, par l'action du courant:

M. Ohm ayant pris une pile à colonne de cent couples de quatre pouces carrés de surface, la partagea en deux parties. Les deux extrémités inférieures ayant été réunies métalliquement, les deux extrémités supérieures formaient les deux pôles de la pile, un électromètre de Bohnenberger fut mis en relation avec le pôle positif. On introduisit dans un morceau de savon très-frais que l'on tenait entre les doigts, deux fils de laiton polis, les deux pointes se trouvant à une distance de $\frac{1}{2}$ pouce environ; l'un de ces fils fut mis d'abord en relation avec le pôle négatif, la feuille d'or prit aussitôt son maximum d'écartement. L'autre fil ayant été mis ensuite en communication avec le pôle positif, en tenant toujours le savon entre les doigts, la feuille d'or revint dans sa position naturelle; mais avant d'y arriver, elle eut un temps d'arrêt, et reprit ensuite sa plus grande élévation En rompant de nouveau, quelques instants après, la communication avec le pôle positif et la rétablissant, la feuille d'or revint insensiblement de son plus grand écartement à sa position naturelle.

Si l'on répète les mêmes expériences en retournant le savon ainsi que les fils, c'est-à-dire, en intervertissant l'ordre de ces derniers, on trouve qu'à l'instant où

l'ancien fil négatif touche le pôle positif, l'autre ayant été mis d'abord en jonction avec le pôle négatif, la feuille d'or revient à sa position primitive; tandis que l'autre pôle conserve sa tension.

En répétant la même expérience, sans changer la position du savon, le phénomène ne se présente plus une seconde fois; mais en renversant de nouveau le savon, on peut le reproduire, et ainsi de suite Il faut seulement avoir l'attention de ne rien changer à la manière dont les fils sont enfoncés dans le savon, car pour peu qu'on les dérange, les effets n'ont plus lieu

Ces phénomènes et d'autres analogues, que je ne rapporte pas ici, montrent bien que la cause des phénomènes unipolaires n'existe pas primitivement dans le savon, mais s'y développe après la fermeture du circuit, car le savon, quoique toujours en rapport avec la terre, n'a pas, à l'instant même de la fermeture, le pouvoir de maintenir le pôle positif dans sa plus grande tension, il ne l'acquiert qu'après un certain temps. Une fois qu'il la possède, il montre dans sa position retournée une force opposée relativement au pôle négatif.

Nous voyons donc qu'il s'opère dans le savon par l'action du courant un changement qui a un rapport déterminé avec la position de ce corps dans le circuit; au moyen de quoi le savon devient un corps unipolaire négatif, et un corps unipolaire positif quand on intervertit le sens du courant.

Il est évident d'après cela que l'on ne doit pas rechercher la cause de ces phénomènes ni dans un pouvoir conducteur inégal du savon et des autres corps analogues pour les deux électricités, ni dans une résistance inégale qu'éprouve le courant en passant du savon dans le métal ou du métal dans le savon, mais bien dans le produit qui se forme au pôle positif sous l'influence du courant, toute la question est là.

Pour compléter l'explication, il ne reste plus maintenant qu'à trouver la nature du composé qui se forme sur le fil positif; mais ce composé est tout simplement

un acide gras, de l'acide oléique ou de l'acide stéarique qui est de nature isolante, et dont sa combinaison avec la soude constitue le savon.

En résumé, nous voyons que le savon se trouvant entre des fils métalliques communiquant avec une pile d'une certaine énergie, l'alcali se porte sur le fil négatif et l'acide gras sur le fil positif; mais la propriété non conductrice de l'acide gras devient bientôt la cause d'un affaiblissement du circuit, jusqu'au point où la décomposition du savon ne pouvant plus s'effectuer, les phénomènes unipolaires du savon commencent à paraître.

Cette explication s'accorde avec toutes les expériences, et montre aussi pourquoi les phénomènes unipolaires n'ont pas lieu quand la pile a peu d'énergie, dans ce cas, les produits formés sont en si petite quantité qu'ils ne peuvent mettre obstacle à la circulation du courant.

1526 Voici encore quelques expériences qui confirment l'explication que je viens de donner : si l'on prend deux morceaux de savon n'ayant jamais servi, et aussi égaux que possible, qu'on les réunisse ensemble avec un fil métallique poli, et qu'on enfonce dans les faces opposées deux autres fils en communication avec les deux pôles d'une pile, on observe les effets suivants touche-t-on avec le doigt le fil négatif ou le morceau de savon situé de son côté, le pôle négatif perd alors toute sa tension, tandis que le pôle positif atteint sa plus grande tension. Touche-t-on, au contraire, le fil mitoyen, alors les deux pôles prennent des tensions de même force, comme si la pile était ouverte. Si enfin on touche le pôle positif, celui-ci perd, toute sa force, et le négatif prend sa plus grande tension. Ces effets s'expliquent facilement en admettant, comme je l'ai dit précédemment, que les bouts positifs sont recouverts d'une couche isolante d'acide gras.

Il est probable que les autres corps unipolaires doivent leur propriété à une cause analogue à celle que je viens d'indiquer. Avec le blanc d'œuf, on ne connaît pas encore la nature du corps isolant qui se dépose sur le

pôle positif Même embarras avec les flammes. on ignore en outre à quelle partie de la flamme appartient le phénomène unipolaire. Voici, au surplus, ce que dit M. Ohm relativement à l'explication de l'unipolarité des flammes à gaz d'hydrogène si l'on met les deux fils polaires de la pile dans la partie lumineuse d'une flamme, la vapeur d'eau formée entre ces fils suffit pour mettre la pile en action et produire par conséquent des décompositions. Autour du fil positif, il se dégage de l'oxigène qui oxide le métal s'il est de nature oxidable, autour du fil négatif il se dégage du gaz hydrogène qui forme une couche non conductrice, laquelle produit des phénomènes unipolaires positifs. Si cette explication est exacte, comme j'ai tout lieu de le croire, les effets ne doivent pas être les mêmes en opérant avec les fils d'un métal non oxidable.

1527. L'acide sulfurique concentré présente une action remarquable sous le rapport unipolaire. Pour la mettre en évidence, on interpose de l'acide sulfurique dans le circuit de la pile, au moyen de deux fils de laiton en rapport avec les deux pôles, quand on touche l'acide ou le fil négatif avec le doigt, ou n'importe quelle portion d'acide sulfurique, le pôle négatif perd son électricité, tandis que l'autre acquiert sa plus forte tension. En touchant, au contraire, le fil positif, le pôle correspondant se décharge, et l'autre atteint son maximum de tension. L'acide sulfurique est donc un corps unipolaire négatif, et qui plus est, un corps unipolaire très-puissant, comme l'expérience le montre; mais sa faculté unipolaire diminue et disparaît bientôt tout à fait en ajoutant peu à peu de l'eau. En unissant le fil négatif et l'acide par un conducteur liquide, les deux électromètres tombent en même temps comme le savon, le courant passe alors avec facilité. Il est probable que dans ce cas l'action décomposante du courant est trop faible pour déposer sur le fil positif des matières isolantes en quantité suffisante pour mettre obstacle au courant. L'acide sulfurique cependant se distingue du savon par cette circons-

tance particulière, qu'on peut prendre aussi, au lieu du conducteur humide, certains métaux, sans nuire pour cela à la force du courant Si du fil de laiton communiquant au pôle positif, on conduit dans l'acide un arc d'or ou de platine, le courant qui était d'abord arrêté se montre avec une grande force, et toute tension au pôle disparaît L'étain et le plomb produisent des effets semblables, mais non pas tout à fait au même degré que l'or et le platine.

1528. Au lieu des fils de laiton, on peut prendre des fils de zinc, et même de cuivre et d'argent : les effets sont les mêmes

On voit donc qu'il y a des métaux, tels que le laiton, le zinc, le cuivre et l'argent, qui donnent à l'acide sulfurique des qualités unipolaires; et d'autres, tels que l'or, le platine, le plomb et l'étain, qui ne jouissent pas de cette propriété Les premiers se recouvrent, par l'action des courants, de composés non conducteurs, qui ne se dissolvent pas ou se dissolvent difficilement dans l'acide, tandis que les autres ne donnent lieu à aucun effet de ce genre

1529 M. Ohm a fait une série de recherches pour analyser les phénomènes produits avec de l'acide sulfurique, en employant une pile de 25 couples et un multiplicateur dont le fil formait 80 circonvolutions.

Les expériences ont été faites de la manière suivante : l'un des bouts du fil du multiplicateur a été soudé à la plaque inférieure de la pile, et à sa plaque supérieure a été soudé un gros fil recourbé, en communication immédiate avec une plaque de cuivre horizontale. A côté de cette plaque on a mis le vase de verre destiné à recevoir l'acide sulfurique, et de l'autre côté une plaque de cuivre semblable à la précédente et soudée à l'autre bout du multiplicateur. Des arcs de platine, d'or, d'argent, de cuivre, de laiton, etc , étaient préparés pour les expériences. La communication entre les deux plaques et l'acide a toujours été établie avec deux arcs de même métal, puis la déviation de l'aiguille aimantée notée de deux minutes en

deux minutes. Voici les principaux résultats obtenus :

Le zinc et le laiton ne donnent jamais une déviation au delà de 5 degrés, bien qu'elle monte à 70 degrés, si l'on verse dans l'acide une quantité d'eau à peu près égale à la sienne. Avec l'or et le platine et l'acide sulfurique concentré, on a une déviation qui ne va jamais au-dessous de 75 degrés. Avec ces quatre métaux l'aiguille prend toujours une position fixe. Cette stabilité dans les phénomènes n'a point lieu avec les métaux suivants, qui donnent tantôt un décroissement, tantôt un accroissement d'action : le plomb donne facilement 62°, l'étain 55°, l'aiguille avec ce dernier métal est toujours agitée ; le fer, 31° avec des effets semblables, l'argent, 21° avec des variations qui font aller la déviation jusqu'à 27°, et le cuivre, 7° seulement, avec des variations qui vont jusqu'à 24° Ces variations ne peuvent être attribuées qu'à la décapation des surfaces métalliques qui agissent alors avec plus de force.

Je dois ajouter aussi que les rapports d'action des différents métaux dans l'acide sulfurique concentré ne changent pas sensiblement lorsqu'on diminue le nombre des éléments, même jusqu'à quatre ou cinq. Les variations qu'éprouve l'aiguille avec le cuivre et l'argent, et autres métaux, sont d'autant plus sensibles qu'on diminue davantage le nombre des éléments.

1530 Je répète encore que les effets unipolaires observés doivent être rapportés évidemment à la formation de produits secondaires sur les fils positifs Lorsqu'on opère avec des lames de zinc, on a une croûte de sulfate de zinc qui ne paraît pas soluble dans de l'acide sulfurique concentré, ou du moins qui ne l'est qu'à un très-faible degré, c'est dans cette insolubilité que réside la cause des phénomènes unipolaires que le zinc produit avec l'acide sulfurique concentré En versant de l'eau dans l'acide sulfurique, le sulfate se dissout et le phénomène unipolaire disparaît. Si l'on examine avec attention les sulfates qui se forment par l'action du courant sur les métaux qui produisent l'unipolarité, on verra que c'est

à l'indissolubilité de ces sulfates dans l'acide sulfurique qu'elle est due. Il est inutile que je m'étende davantage sur les produits qu'on obtient avec le laiton, le cuivre, etc., attendu que je ne pourrais rien ajouter à ce que je viens de dire.

Puisque l'acide sulfurique produit des effets unipolaires par suite de la présence de composés isolants insolubles, qui se forment sur certains métaux servant à transmettre le courant, on peut en induire que d'autres acides doivent produire des effets analogues.

FIN DE LA 2[e] PARTIE DU V[e] VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA DEUXIÈME PARTIE DU CINQUIÈME VOLUME

LIVRE XIII.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ, DES ACTIONS ÉLECTRIQUES ET DES EFFETS DE L'INDUCTION.

CHAPITRE PREMIER

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE CONTACT.

CHAPITRE II

CHAPITRE III.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUIT DANS LES ACTIONS CHIMIQUES ET DANS LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

CHAPITRE IV

DES EFFETS ÉLECTRIQUES PRODUITS DANS LES ACTIONS MÉCANIQUES.

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES DE M HARRIS SUR LES LOIS FONDAMENTALES DES ACTIONS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE VII.

DE L'INDUCTION D'UN COURANT SUR LUI-MÊME OU A DISTANCE

CHAPITRE VIII.

CHAPITRE IX

CHAPITRE X

DES RAPPORTS ENTRE L'INDUCTION, LA CONDUCTION ET LES DIVERSES CHARGES ÉLECTRIQUES

LIVRE XIV.

DES DIVERSES PILES ET DE LEURS EFFETS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

CHAPITRE I.

DES DIVERSES PILES A COURANT CONSTANT

CHAPITRE II

DES PLAQUES DE ZINC AMALGAMÉ.

CHAPITRE III.

PILE A COURANT CONSTANT DE M. DANIELL.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII

CHAPITRE VIII

CHAPITRE IX

FIN DE LA TABLE.